



L'ELETTROTECNICA

GIORNALE ED ATTI DELLA

ASSOCIAZIONE ELETTROTECNICA ITALIANA

SOTTO GLI AUSPICI DEL CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

COMITATO DIRETTIVO: A. BARBAGELATA - A. DALLA VERDE - M. SEMENZA - G. SOMEDA

DIREZIONE: DIRETTORE: A. BARBAGELATA - CONDIRETTORE E REDATTORE CAPO: R. SAN NICOLÒ

COMITATO DI REDAZIONE: A. M. ANGELINI - F. BAROZZI - E. GATTI - R. SARTORI - G. SILVA

AMMINISTRAZIONE: UFFICIO CENTRALE DELL'A.E.I. - MILANO - VIA SAN PAOLO, 10 - TEL. 794-794 e 798-897 - C/C POSTALE 3,1189

È GRADITA LA COLLABORAZIONE DEI LETTORI. - GLI ARTICOLI DI INTERESSE GENERALE ACCETTATI DALLA REDAZIONE SONO COMPENSATI. - GLI SCRITTI DEI SINGOLI AUTORI NON IMPEGNANO LA REDAZIONE E QUELLI DELLA REDAZIONE NON IMPEGNANO L'A.E.I. - I MANOSCRITTI NON SI RESTITUISCONO.

AI SOCI DELL'A.E.I. UN ABBONAMENTO GRATIS. - SPEDIZIONE IN ABBONAMENTO POSTALE: GRUPPO 3°. PUBBLICAZIONE MENSILE

SOMMARIO

PARTE PRIMA		Notizie e Informazioni		Pag. 182
Articoli:	Fissione domani fusione dopo domani (H. HOVAUX - P. GANS)	La nostra Industria		» 184
	Dimensionamento e collaudo di trasformatori bi-trifasi (U. RÖSCH)	Libri e Pubblicazioni		» 194
	La statistica nelle telecomunicazioni con particolare riferimento alla teoria delle informazioni (I. CAPPETTI)	Notizie dell'Associazione:		
	I trasduttori magnetici a campi ortogonali e loro particolari applicazioni (M. PEREZ DE VERA - S. RIZZO)	LXI Riunione Annuale dell'A.E.I. (Ancona-Senigallia, 18-23 settembre 1960). Elenco delle Memorie annunciate		» 196
	La televisione nel 1959 (S. BERLOTTI)	Notizie delle Sezioni: Sezione di Napoli		» 198
Rubriche varie:		Comitato Elettrotecnico Italiano		» 198
	Domande e Risposte	Necrologi: Dr. ing. Luigi Martinelli - Dr. ing. Carlo De Riccabona		» 200
		Attività delle Sezioni		» 200
		PARTE SECONDA		
		Sunti e Sommari		Pag. 25 D

Programma tecnico della LXI Riunione

Pubblichiamo più avanti l'elenco delle memorie preannunciate per la prossima Riunione annuale.

Si è cercato di raggrupparle con un ordine logico ma dal solo titolo spesso non è possibile giudicare il contenuto della memoria: perciò il programma che pubblichiamo deve considerarsi soltanto come un primo tentativo.

Il successo tecnico della Riunione si delinea fin da ora. Resta soltanto da sperare che tutte le memorie annunciate possano venire acquisite alla Riunione, per il che è indispensabile che i testi manoscritti pervengano alla Redazione entro il termine improrogabile del 30 aprile.

Domande e risposte

Riprendiamo una rubrica che, in un precedente periodo del nostro giornale, aveva suscitato vivo interesse. In essa verranno pubblicati domande e problemi di carattere scientifico o tecnico proposti da lettori e, successivamente, le migliori risposte che pervenissero alla Redazione.

È dunque una rubrica interamente affidata alla collaborazione dei lettori e il suo successo dipenderà dall'interessamento che essi vi dimostreranno.

Tutti possono presentare domande ed inviare risposte; naturalmente la Redazione si riserva di pubblicare quelle che ritiene di reale interesse sotto l'aspetto scientifico o nei riguardi delle pratiche applicazioni; questa selezione è imposta, fra l'altro, da imprescindibili esigenze circa lo spazio disponibile sul giornale.

Ci auguriamo che la nuova rubrica possa servire a richiamare sempre più strettamente l'attenzione dei consoci sulla nostra rivista, che costituisce l'organo di collegamento di tutta la nostra AEI e che si sforza di adeguarsi sempre più ai desideri ed ai gusti dei suoi lettori.

Fusione Nucleare

Mentre le centrali basate sulla fissione nucleare si vanno ormai largamente diffondendo su scala industriale, l'ardimento, la costanza, la genialità dei tecnici si puntano sul problema della fusione nucleare che nelle sue prospettive più ottimistiche promette di risolvere definitivamente la questione del rifornimento di energia per l'umanità.

È sembrato di massimo interesse aggiornare i nostri lettori su questo affascinante campo della tecnica. A tale scopo si è pensato di tradurre l'articolo di M. HOVAUX e P. GANS apparso sulla Revue des Ateliers de Constructions Electriques de Charleroi, che qui ringraziamo per la cor-

tese concessione. La cosa è insolita per il nostro giornale, uso a pubblicare soltanto articoli inediti, ma è giustificata dall'eccezionale interesse dell'argomento e dalla singolare chiarezza e semplicità con cui gli Autori hanno saputo presentare la difficile materia.

Trasformatori bi-trifasi

Prendendo lo spunto da un particolare tipo di trasformatore trifase-bifase, U. RÖSCH mette in evidenza le difficoltà esistenti in sede di collaudo nella determinazione delle perdite nel rame nonchè gli inconvenienti che si manifestano in via generale nel funzionamento con carico simmetrico bifase di detti trasformatori.

A conclusione del suo studio, l'Autore dà indicazioni da seguire in sede di progetto per eliminare gli inconvenienti di funzionamento, mediante opportuna scelta delle impedenze di cortocircuito dei vari avvolgimenti del sistema bifase.

Statistica e telecomunicazioni

I concetti probabilistici e statistici si sono estesi dal campo della fisica, largamente anche a quello della tecnica e specialmente per le telecomunicazioni. Basta considerare quello che realmente è una conversazione telefonica per comprendere la assurdità di pensare che lo studio della trasmissione di essa possa ridursi a quello di una propagazione di una o anche più onde sinusoidali. È quindi di interesse generale il conoscere le nozioni fondamentali della moderna statistica fisica e tecnica, soprattutto quando sono esposte in una forma piana e facilmente comprensibile anche ai non iniziati come è fatto nell'articolo di I. CAPPETTI che oggi pubblichiamo.

Trasduttori magnetici a campi ortogonali

M. PEREZ DE VERA e S. RIZZO illustrano questo tipo di trasduttore magnetico che presenta particolari caratteristiche funzionali, dimostrando fra l'altro, la possibilità di realizzare per tale via un trasformatore di corrente continua e ne illustrano i vantaggi.

Progressi nella televisione

Continuando nell'esame dei progressi nei vari campi della elettrotecnica, pubblichiamo una nota di S. BERLOTTI sulla televisione nello scorso anno.

FISSIONE DOMANI ... FUSIONE DOPO DOMANI

MAX HOYAUX - PAUL GANS (*)

(Tradotto dal n. 2/1959 della ACEC - Revue des Ateliers de Constructions Électriques de Charleroi)

Nella prima parte viene esposto il principio della fusione di nuclei leggeri, con liberazione d'energia, rilevando il valore elevato della temperatura occorrente per fondere nuclei di idrogeno, deuterio e trizio, con riferimento alle reazioni che avvengono nelle stelle ed a quelle che si possono produrre idealmente in laboratorio. Stabiliti i vantaggi tecnici d'un reattore a fusione, rispetto ad un reattore a fissione, gli AA. passano in rassegna i diversi tentativi fatti per realizzare un reattore capace di raggiungere la temperatura minima di 36 milioni di °K, occorrente per produrre la fusione di un miscuglio in parti uguali di deuterio e trizio. In realtà la temperatura raggiunta finora nei vari modelli di reattori sperimentali è stata solo di qualche milione di °K; essa è stata ottenuta comprimendo adiabaticamente per mezzo di campi magnetici variabili un miscuglio di gas ionizzati da una scarica elettrica. Viene trattato ampiamente il problema del confinamento del plasma gassosi ad alta temperatura per mezzo di campi magnetici, plasmoidi ed onde d'urto. Viene anche rilevato che la fusione a freddo dei nuclei leggeri si può ottenere, almeno teoricamente, per azione catalitica dei mesoni.

I. - PREMESSA.

Mentre alla fine del 1955 il numero delle pubblicazioni originali sulla fusione, considerata dal punto di vista industriale, era praticamente nullo, ora più d'un migliaio di pubblicazioni originali: americane, inglesi, russe, francesi e svedesi sono apparse su tale argomento.

Tenuto conto dei formidabili problemi scientifici e tecnici in gioco, non si può prevedere una soluzione industriale molto prossima. Almeno dieci anni sono ancora necessari prima che i fisici sappiano risolvere il problema. Altri dieci anni almeno saranno necessari per risolverlo effettivamente senza preoccupazioni economiche, dopo di che bisogna prevedere ancora almeno dieci anni, cioè in totale trent'anni, per rendere accettabile economicamente la fusione in rapporto ai combustibili classici ed alla fissione, che nel frattempo avrà continuato a progredire. Solo quindi verso la fine di questo secolo, e forse al principio del prossimo, avremo le prime centrali industriali a fusione.

I Parte - PROPRIETÀ GENERALI DELLA FUSIONE

2. - DEFINIZIONI E GENERALITÀ.

La fusione nucleare è il fenomeno diametralmente opposto della fissione. Ricordiamo brevemente che, nella fissione, sotto l'azione d'una causa esterna qualunque, od anche senza, il nucleo degli elementi pesanti, come l'uranio, è suscettibile di fissionarsi, cioè di rompersi in due frammenti di massa circa uguale. La fissione degli elementi pesanti libera circa 25.000.000 kWh (termici) per kg di materia realmente fissionata. Inoltre, essa libera

neutroni, detti secondari, che possono adescare nuove fissioni. Si arriva così facilmente al concetto ben noto di reazione a catena.

Richiameremo semplicemente l'attenzione sul fatto che il mantenimento d'una reazione a catena basata sui neutroni estremamente rallentati, detti neutroni termici perché in equilibrio energetico con gli atomi delle sostanze nelle quali circolano, sussiste in virtù dell'attitudine di tali neutroni di eccitare fissioni in certe sostanze, dette fissili, fra le quali figurano notoriamente l'uranio-235, il plutonio-239 e l'uranio-233. Questa possibilità dipende direttamente dall'assenza di carica elettrica nel neutrone. Essa gli permette di attraversare la corona elettronica degli atomi senza interferire con gli elettroni che la costituiscono; essa gli permette d'avvicinare il nucleo senza risentire alcuna repulsione. Per ragioni legate al loro aspetto ondulatorio, i neutroni termici sono molto più efficaci dei neutroni rapidi.

Disgraziatamente, la fissione mette a disposizione solo riserve molto limitate di combustibili. Bisogna inoltre distinguere molto nettamente i combustibili fissili, utilizzabili direttamente, dai combustibili fertili, utilizzabili solo dopo un trattamento speciale. Ora questi, in natura, sono circa 300 volte più abbondanti dei primi. In realtà, l'avvenire a lunga scadenza dei combustibili fissili, riposa in gran parte sulla messa a punto eventuale d'un processo economico di trattamento preliminare dei combustibili fertili.

L'unico combustibile fissile presente in natura è l'uranio-235; i due combustibili fertili naturali sono l'uranio-238 ed il torio-232; tutti gli altri elementi sono, o inutilizzabili per ragioni collegate con le loro proprietà nucleari (piombo, bismuto, ecc.) o troppo rari in natura (protattinio, radio, ecc.).

Il solo sostituto possibile, nel campo nucleare, della energia di fissione, è l'energia proveniente dalla fusione degli elementi leggeri.

La fig. 1 rappresenta il potenziale energetico nucleare per nucleone (ricordiamo che « nucleone » è un termine generale che può rappresentare tanto un « protone » che un « neutrone ») dei diversi elementi. Questa curva proviene da misure fatte con lo spettrografo di massa, tenuto conto che la liberazione d'energia nucleare si traduce sempre in una diminuzione di massa, in conformità con la relazione di Einstein:

$$W = mc^2$$

dove W è l'energia, m la massa che si scompone e c la velocità della luce nel vuoto.

Su questa curva si vede nettamente che gli elementi aventi un potenziale energetico minimo sono posti circa a metà della classificazione di Mendelejeff; in realtà il minimo è spostato un po' verso sinistra, e sono i metalli, come il ferro ed il cromo, che rappresentano lo stato più stabile, a cui non corrisponde liberazione d'energia.

Per quanto concerne gli altri, vi sono dunque due processi esoenergetici distinti. Per gli elementi pesanti si diminuisce l'energia interna, liberando energia, se il numero medio dei nucleoni per nucleo diminuisce; l'esempio

(*) MAX HOYAUX - PAUL GANS, del Dipartimento « Studi e Ricerche » Divisione Nucleare degli Ateliers de Constructions Électriques de Charleroi.

più semplice è la « fissione », nella quale un nucleo si divide in due, diminuendo così in media tale numero di metà. Per gli elementi leggeri si raggiungerà al contrario

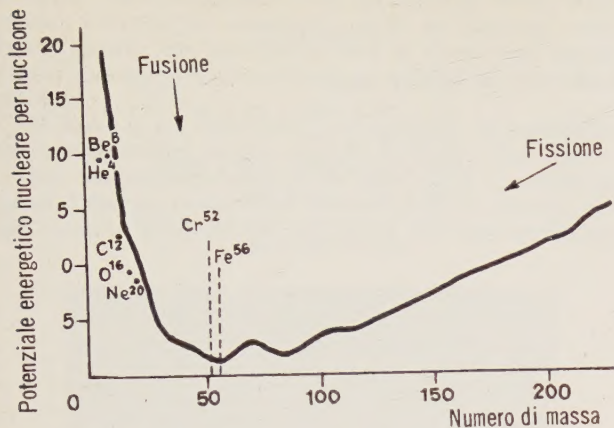


Fig. 1. — Curva di Aston che dà il potenziale energetico nucleare per nucleone, in funzione del numero di massa atomico.

Come si vede da questa curva, i nuclidi il cui potenziale energetico per nucleone è minimo, sono il cromo-52 ed il ferro-56, situati entrambi nella gamma delle masse atomiche medie. I nuclidi di massa inferiore possono liberare energia aumentando il numero dei nucleoni per nucleo (fusione, ad esempio), mentre i nuclidi di massa superiore possono farlo diminuendo il numero medio di nucleoni per nucleo (fissione, ad esempio). Nell'un caso o nell'altro, il potenziale energetico è massimo alla estremità corrispondente della classificazione di Mendeleev.

un risultato equivalente aumentando il numero dei nucleoni per nucleo: l'esempio più semplice è la « fusione » che consiste nel fondere due nuclei in uno, raddoppiando

Come gli elementi posti all'estrema destra del grafico sono più convenienti per la fissione, così quelli posti alla estremità sinistra lo sono di più per la fusione. Tuttavia vi sono sfumature anche qui. La fusione dell'idrogeno ordinario è teoricamente possibile, essa è alla base dell'energia stellare, però per ragioni che appariranno più avanti, il combustibile ideale per la fusione è il deuterio, isotopo pesante dell'idrogeno. Sebbene il deuterio sia da 5 000 a 6 000 volte meno abbondante in natura dell'idrogeno ordinario, avremmo torto di considerarlo un elemento raro; la sua abbondanza, in virtù dell'acqua degli oceani, è senza paragone maggiore di quella dell'uranio e del torio. Esso rappresenta, per litro d'acqua comune, un'energia 300 volte quella d'un litro di combustibile liquido, per cui le riserve totali disponibili corrispondono a *cento miliardi di volte* il consumo mondiale d'energia elettrica nel 1957.

Vedremo pure che il litio, nel futuro reattore a fusione, avrà funzione simile a quella d'un combustibile fertile, ma il suo pregio sta soprattutto nel fatto che fornisce un combustibile sintetico per la fusione, il trizio, isotopo, ancora più pesante, dell'idrogeno, praticamente assente in natura e che, mescolato in proporzioni adatte al deuterio, facilita considerevolmente l'adescamento d'una reazione di fusione.

Infine, allo stato attuale, non si pensa per niente di spingere la fusione fino ad ottenere il ferro. Come si vede chiaramente dalla fig. 1, l'elio occupa una posizione appartata, nel senso che la sua energia potenziale è molto inferiore al normale; in altri termini, una reazione che si concluda con l'elio libera più energia d'una reazione che si concluda con un elemento vicino. Inoltre, riprendere l'elio come combustibile di fusione non è nemmeno pen-

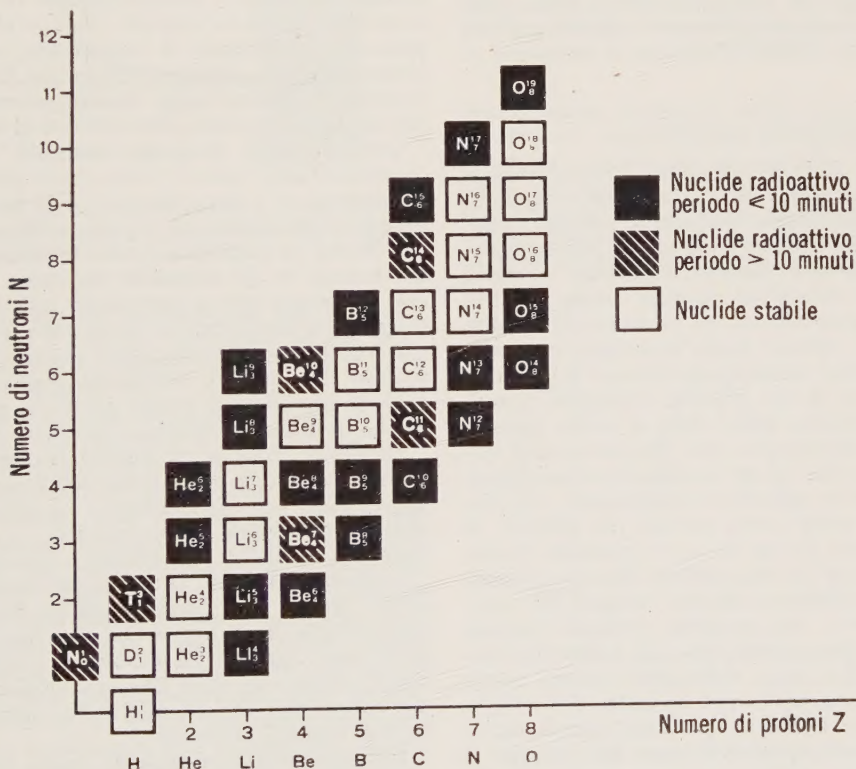


Fig. 2. — Posizione in un diagramma Z-N nei nuclidi leggeri.

Z = numero di protoni, N = numero di neutroni. Molti di questi nuclidi sono ripresi nelle equazioni delle Tabelle I, II e III come nelle figg. 8 e 9.

così il numero di nucleoni per nucleo. Come principio, non vi sarebbe niente d'impossibile a ripetere la stessa operazione sui prodotti della fusione, fino ad ottenere come prodotto finale il ferro.

sabile (sebbene ciò avvenga in certe stelle) perchè la fusione di due nuclei d'elio è endoenergetica, dando berillio-8 che si disintegra subito spontaneamente.

Riassumendo, bisogna considerare un insieme di rea-

zioni basate sul deuterio ed il litio come materie prime, sul trizio come stadio intermedio eventuale, aventi come conclusione l'elio-4. La posizione relativa di questi diversi nuclidi (ricordiamo che la parola «nuclide» completa il termine «elemento chimico» indicando la massa dell'isotopo considerato) in un diagramma $Z-N$, cioè un diagramma ottenuto portando sulle ascisse il numero Z di protoni e sulle ordinate il numero N di neutroni, è data dalla fig. 2. Su questo stesso diagramma figurano anche un certo numero di altri nuclidi, di cui si parlerà in seguito in questo articolo.

Come si possono realizzare le reazioni di fusione?

Per studiare la fusione nucleare in laboratorio si utilizza il procedimento classico per accelerare un proiettile, ad esempio un deutone (nucleo del deuterio, costituito d'un protone ed un neutrone), lanciandolo contro un bersaglio di ghiaccio pesante (ghiaccio ottenuto congelando, su una parete raffreddata con azoto liquido, l'acqua pesante, che è in realtà l'ossido di deuterio, così come l'acqua comune è ossido d'idrogeno). I risultati dell'esperienza sono osservati per mezzo di rivelatori.

Questo procedimento di laboratorio non si può pensare tecnologicamente come una sorgente d'energia. Solo un corpuscolo su un milione colpisce il segno, cioè il nucleo atomico; gli altri sciupano la loro energia interferendo con gli elettroni esterni (poichè si tratta in questo caso di corpuscoli carichi e non di neutroni); inoltre, la ripulsione elettrostatica fra il nucleo-bersaglio ed il nucleo-proiettile, che portano cariche dello stesso segno, devia ulteriormente i proiettili che si avvicinano al segno con velocità insufficiente o con scarsa precisione.

È possibile concepire un dispositivo che non presenti questi inconvenienti? Per saperlo, rivolghiamoci prima alla astrofisica, poichè questa scienza ha per prima messo in evidenza l'esistenza di condizioni fisiche nelle quali possono prodursi le reazioni di fusione e mantenersi con rendimento eccellente. Queste condizioni si realizzano al centro delle stelle.

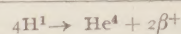
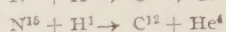
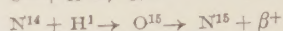
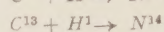
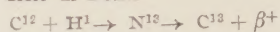
3. - LA FUSIONE NUCLEARE IN ASTROFISICA.

Durante il secolo XIX, gli astrofisici cominciarono a porsi, con molto interesse misto ad una certa inquietudine, il problema dell'origine dell'energia stellare. Consideriamo ad esempio il Sole; si sa che il suo irraggiamento totale, in base alla relazione d'Einstein, equivale a quattro milioni di tonnellate/secondo; anche se tutta la sua massa fosse costituita da un miscuglio di combustibile e comburente chimici ricchi d'energia, in nessun caso il potere calorifico potrebbe mantenere la reazione dando energia per più di una ventina di migliaia d'anni. Ora, le ricerche geologiche hanno dato al nostro pianeta un'età nettamente superiore e, cosa più grave, si è formata la convinzione che la sua temperatura non abbia variato nemmeno in un miliardo d'anni almeno. Le cifre attuali sono d'altra parte anche un po' più radicali. Il sistema solare avrebbe un'età da 4 a 5 miliardi d'anni, e l'emissione energetica del Sole sarebbe rimasta costante quasi fin dall'inizio. Bisogna dunque trovare, per spiegare questo fenomeno, una sorgente d'energia almeno due milioni di volte più potente della più favorevole reazione chimica. Verso il 1925, Eddington sembra essere stato il primo ad accorgersi che poteva trattarsi d'energia nucleare e, nel 1938, Bethe ha precisato alcune fra le reazioni più importanti capaci di liberare tale energia. Il combustibile essenziale è l'idrogeno comune ed il prodotto della combustione è l'elio-4. Vi sono due cicli diversi; il secondo però proviene solo parzialmente dagli studi di Bethe, esso è stato descritto nella sua forma definitiva da Fowler nel 1951. Il primo si chiama «ciclo di Bethe» o ciclo «carbonio-azoto», perchè fa intervenire due isotopi di ciascuno di questi elementi come catalizzatori nucleari; il secondo si chiama «ciclo dei due protoni» e non fa intervenire alcun catalizzatore. La loro espressione completa è indicata sulla tab. I.

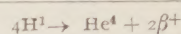
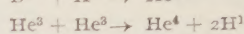
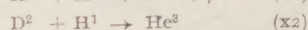
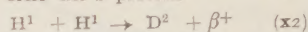
Nei due casi, il bilancio energetico è lo stesso: quattro atomi d'idrogeno spariscono per lasciare il posto ad un atomo d'elio comune. Ora, ogni atomo d'idrogeno pesa

TABELLA I.

A) Ciclo di Bethe



B) Ciclo dei 2 protoni



1,0078 unità di massa atomica (l'unità di massa atomica è 1/16 della massa del nucleo dell'isotopo 16 dell'ossigeno; il suo valore in unità macroscopiche è $1,66 \times 10^{-27}$ kg) mentre ogni atomo d'elio pesa 4,003 unità di massa atomica; ad un certo punto della reazione si ha quindi la sparizione di 0,028 unità di massa, cioè il 0,7 % della massa reagente. Ogni tonnellata d'idrogeno dà luogo alla formazione di 993 kg d'elio, mentre 7 kg si smaterializzano; l'energia corrispondente, secondo la formula di Einstein, è di 25 000 000 kWh per grammo di sostanza smaterializzata; ciò significa 175 miliardi di kWh per tonnellata d'idrogeno fuso. La formidabile dispersione di energia dal Sole — quattro milioni di tonnellate al secondo convertite in energia — esige che 560 milioni di tonnellate d'idrogeno si convertano ad ogni secondo, producendo 556 milioni di tonnellate d'elio. La quantità d'idrogeno presente nelle regioni centrali del Sole è tale che occorreranno circa dieci miliardi di anni per esaurirla.

Quando questo idrogeno è esaurito, una stella di dimensioni medie come il Sole, o più piccola, si converte lentamente in «nana bianca», cioè in una stella di dimensioni piccolissime (e densità molto grande: da qualche decina di migliaia a qualche milione di volte quella dell'acqua), la cui emissione energetica è così piccola da non richiedere più di attribuirle un'origine nucleare; si ritiene però più probabile che le stelle molto pesanti siano suscettibili, dopo l'esaurimento del loro idrogeno, di consumare il loro elio, formando diversi nuclidi fino al ferro-56 compreso; a questo punto, la reazione s'arresta, perchè la fusione comincia a diventare endoenergetica.

Perchè le reazioni di fusione hanno luogo al centro delle stelle con un rendimento soddisfacente, e perchè si mantengono automaticamente? La risposta a queste domande contribuirà a comprendere le condizioni a cui dovrebbe soddisfare un reattore a fusione.

Intanto, quali sono le condizioni fisiche al centro delle stelle? Non ci dilungheremo qui sui mezzi impiegati per determinarle; basta sapere che sono ragionevolmente note ed il resto riguarda gli astrofisici. Limiteremo inoltre il nostro studio alle stelle che consumano idrogeno, quelle che consumano elio essendo molto meno note e più lontane dal nostro problema.

La temperatura centrale di queste stelle è dell'ordine di qualche decina di milioni di gradi; la diversità delle temperature centrali è d'altra parte in esse sensibilmente minore di quella delle temperature superficiali. Tale temperatura è talmente elevata, è ben chiaro, che non soltanto tutte le molecole sono decomposte nei loro atomi costituenti, ma che persino la maggioranza degli atomi, e specialmente tutti gli atomi leggeri, sono decomposti nel loro nucleo ed elettroni costituenti.

Inoltre, la densità della materia è elevata: circa 110 kg/dm³ al centro del Sole; la combinazione d'una

densità e di una temperatura elevate porta all'esistenza d'una pressione formidabile, valutabile a miliardi di atmosfere. Tuttavia, l'equazione di stato dei gas perfetti è valida, a causa appunto della ionizzazione totale degli atomi: i corpuscoli rimanenti, nuclei ed elettroni, sono tanto piccoli, che attorno ad essi si forma uno spazio vuoto enorme, ciò che assicura la validità all'equazione di stato.

Le figure 3 e 4 mostrano la ripartizione in profondità della temperatura e della densità all'interno del Sole.

Alla temperatura centrale del Sole, circa 15 milioni di gradi, l'energia media d'un protone (dopo la perdita, per un atomo d'idrogeno, del suo unico elettrone periferico)

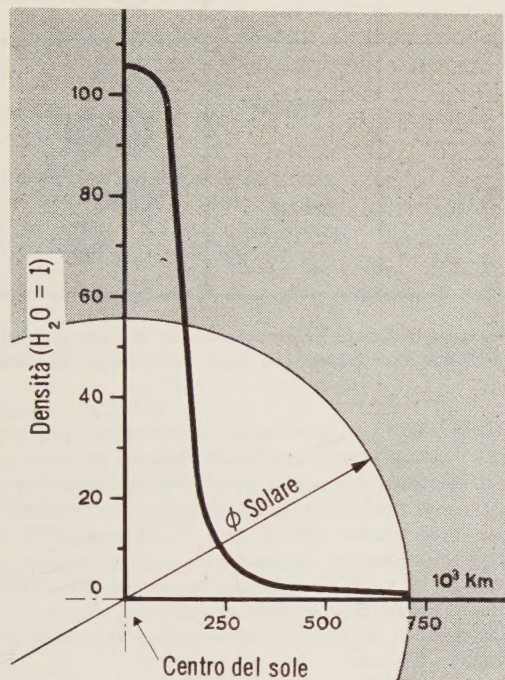


Fig. 3. — Distribuzione radiale della temperatura interna del Sole. La temperatura superficiale misurata è prossima a 6000 °K; la temperatura centrale ottenuta col calcolo supera 15 000 000 °K.

è la stessa che se fosse stato accelerato da una differenza di potenziale di 1300 V (ciò che corrisponde ad una energia di 1300 voltelettroni), energia molto modesta se si pensa a quello che possono dare i ciclotroni. La probabilità d'una reazione con un altro nucleo, secondo una qualunque delle reazioni della tab. I, sarebbe veramente trascurabile se tutti i protoni avessero quella sola velocità; ma è ben noto che, nei gas perfetti, si ha una distribuzione maxwelliana della velocità (fig. 5), per cui alcuni protoni possono raggiungere energie dieci volte maggiori ed anche più. Sono sostanzialmente quelli che subiscono la fusione. Queste reazioni nucleari, prodotte da un semplice aumento di temperatura, sono dette « termonucleari » all'opposto delle reazioni nucleari comuni prodotte dall'accelerazione d'un costituente. Da notare che non sono sottoposte alle limitazioni già dette. Infatti, il protone che circola in un mezzo totalmente ionizzato scambia un'energia trascurabile con gli elettroni (liberi) contenuti nello stesso mezzo; d'altra parte, se esso è deviato da un nucleo-bersaglio, ne troverà presto o tardi, se la quantità di materia messa in opera è sufficiente, un altro con cui reagirà.

D'altra parte, l'efficienza della reazione, definita in rapporto a quella delle macchine termiche terrestri, è irrilevante: circa 0,2 mW per kg di idrogeno al centro del Sole. Occorre tutta la massa d'una stella come dominio d'integrazione, perchè la risultante d'una quantità così piccola diventi ponderabile.

Il centro delle stelle presenta altre particolarità interessanti; è il posto ideale per lo sviluppo di altre reazioni termonucleari in altre direzioni. Inizialmente, nel passato, è stato necessario adescare queste reazioni; ora la

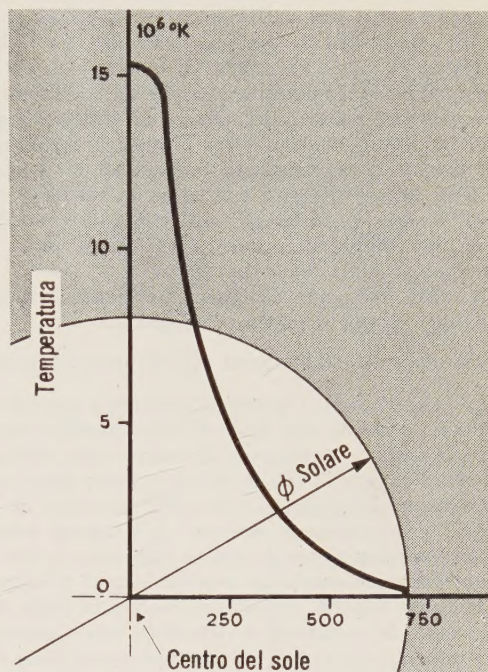


Fig. 4. — Distribuzione radiale della densità all'interno del Sole. Benchè la densità al centro superi 100 volte quella dell'acqua, la materia continua a comportarsi come un gas perfetto a causa della sua ionizzazione quasi totale.

compressione adiabatica della stella sotto l'azione del suo proprio peso, conduce precisamente ad una temperatura del valore richiesto; appena la reazione s'è adescata, per quanto modestamente, l'energia liberata da essa tende ad aumentare la temperatura in modo da favorirla (l'efficienza della reazione di Bethe cresce con la potenza 18^a della temperatura assoluta, e quella del ciclo

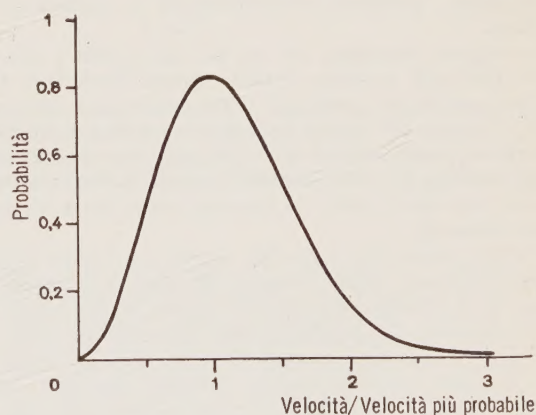


Fig. 5. — Distribuzione di Maxwell.

In un gas perfetto, le velocità molecolari sono distribuite attorno al valor medio secondo questa curva caratteristica. Per quanto grande sia una velocità, si trovano sempre molecole almeno così veloci. Nei fenomeni come quelli della fusione nucleare, un compito preponderante è svolto dai rarissimi corpuscoli di velocità eccezionalmente grande.

dei due protoni secondo la potenza 14^a). Ma se questa energia fosse dispersa nello spazio, tale accrescimento non sarebbe possibile; l'effetto d'isolamento termico dello spessore considerevole di materia attorno alle regioni

centrali della stella, imprigiona una parte notevole della energia liberata. Pertanto, i protoni delle regioni centrali sono costantemente accelerati sotto l'azione dell'energia liberata dalle fusioni stesse, e questo fenomeno è forse fra i più difficili da riprodurre nei dispositivi sperimentali e tecnologici. Si deve anche osservare che la stella, se non brilla per la sua attitudine a produrre calore, non è nemmeno costituita da materia notevolmente isolante; qui, si tratta ancora d'un effetto di massa.

Riassumendo: le reazioni termonucleari richiedono temperature elevate, valutabili a decine di milioni di gradi; il gas è completamente ionizzato; bisogna eccitare la reazione portando la temperatura iniziale ad un certo valore critico; infine, bisogna contenere la reazione impedendo all'energia di dissiparsi, allo scopo di consentire a nuovi nuclei atomici di essere accelerati in virtù della energia liberata dalla reazione stessa.

Ciò definisce nettamente i diversi problemi da risolvere per mettere a punto il reattore a fusione.

4. - DATI FISICI SULLE REAZIONI FRA ELEMENTI LEGGERI.

Per i non specialisti, l'ipotetico reattore a fusione mira a riprodurre, secondo una scala di laboratorio o tecnologica, i fenomeni che avvengono al centro della stella. Per quanto ci sia di vero in ciò, la realtà è molto meno esatta dell'aspettativa immaginata da molti. Intanto, il combustibile è essenzialmente diverso. L'idrogeno comune, infatti, non sembra avere le qualità richieste; la sua reattività con la maggioranza dei nuclidi leggeri è bassa; ciò spiega la bassa densità di potenza realizzata nelle stelle. Con se stesso, la reattività è debole in modo anormale, poichè suscita quella che si chiama una transizione interdotta di grado elevato.

Un'altra ragione, anche più imperativa, è che, nella maggioranza dei casi, l'energia liberata dalla reazione di un nucleo leggero in prevalenza appare sotto la forma di una o più radiazioni γ ; ora, abbiamo visto che una condizione essenziale per mantenere una reazione termonucleare, è di poter trasmettere una parte dell'energia, liberata dalle reazioni di fusione, al combustibile in modo da provocare nuove fusioni. Tale trasferimento sarebbe particolarmente difficile nel caso d'una radiazione γ , che cede difficilmente la sua energia ad un nucleo leggero. L'energia che si manifesta sotto questa forma è quindi persa per la reazione; certamente, è, a rigore, recuperabile altrimenti, ad esempio sotto forma di calore con una schermatura, però non contribuirebbe a mantenere la reazione.

Per ragioni analoghe, ma un po' più sottili e che saranno precisate a tempo debito, saremo parimenti condotti a considerare persa per il mantenimento della reazione, l'energia che appaia sotto forma cinetica di elettroni o neutroni, considerando solo l'energia che appare sotto forma cinetica di nuclei atomici carichi. La chiameremo *energia utile* (sottintesa: al mantenimento della reazione termonucleare).

D'altra parte, solo i nuclidi aventi un valore Z (numero di protoni) basso, possono dar esca a speranze ragionevoli di soluzioni industriali. Infatti, la ripulsione dei nuclei dipende dal prodotto delle loro cariche, cioè da $Z_1 \cdot Z_2$, e condiziona l'energia cinetica, ossia la temperatura richiesta, perchè possano tuttavia fondersi. Come si vede, sono principalmente le temperature più alte richieste per la reazione che sollevano le maggiori difficoltà.

Da una quindicina d'anni, sono state studiate molto, per mezzo degli acceleratori di particelle, le proprietà delle reazioni fra nuclei leggeri. I principali proiettili utilizzati sono rappresentati sulla fig. 6, che completa in forma volgarizzata il grafico della fig. 2.

La tab. II riassume i dati dell'esperienza. A fianco dei valori totali dell'energia liberata, abbiamo precisato la energia utile, nel senso che è stato definito ora. Tali energie diverse sono date in MeV (mega-elettronvolt); ricorderemo che se l'energia per nucleo è di 1 MeV, la

energia per kg è di 26 500 000 kWh, divisa per la massa atomica totale (cioè la somma degli indici superiori) in ogni membro.

Questa tabella contiene probabilmente tutte le reazioni






Idrogeno	Protone	
	Deutone	
	Tritone	
Elio	Trafilione	
	Helione (particella α)	

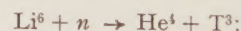
Fig. 6. — Ricapitolazione dei nuclei atomici più semplici, comunemente utilizzati come proiettili negli acceleratori di particelle

per le quali esiste una possibilità interessante, per quanto modesta. Possiamo ricavare le conclusioni seguenti:

a) il deuterio appare il combustibile termonucleare ideale. La sua reattività nella gamma interessante dell'energia (cioè quella che si può ragionevolmente pensare di raggiungere in un reattore termonucleare, dello stesso ordine di quella realizzata al centro della stella) è maggiore, a parità d'ogni altra condizione, di quella d'un qualsiasi nuclide, ed in particolare, circa 100 volte quella dell'idrogeno comune;

b) la reattività sarà aumentata, o la temperatura richiesta per una data reattività ridotta, mescolando al deuterio una certa quantità di trizio; la reattività massima, ottenibile con un miscuglio in parti uguali, supera di 30 volte quella del deuterio con se stesso e 60 volte quella del trizio con se stesso. In un tale miscuglio, le reazioni eterogenee saranno quindi largamente prevalenti sulle reazioni omogenee.

Non esiste alcuna sorgente naturale importante di trizio (l'irraggiamento cosmico ne produce qualche poco nell'aria), ma se ne può produrre se i neutroni emessi da una reazione del tipo deuterio-deuterio o deuterio-trizio sono catturati dal litio di massa 6; la reazione è allora:



c) gli isotopi del litio si presentano finora molto favorevolmente, però vedremo in seguito che il loro impiego nel focolare attivo è sconsigliabile; al contrario, l'impiego dell'isotopo di massa 6 fuori dal focolare attivo, secondo la reazione ora riportata, va considerato molto seriamente;

d) bisogna osservare che ognuno dei prodotti di massa 3 provenienti dalla reazione del deuterio con se stesso, è suscettibile di reagire a sua volta col deuterio; in ogni caso, non solo l'energia totale liberata è considerevole, essa dà anche molta energia utile. Ciò che potrà essere anche più interessante, è la reazione di questi due prodotti fra di loro (reazione trizio-trifio); ma la reattività del trizio col deuterio è tanto elevata che poco trizio resta disponibile per reagire col trifio; questo reagirà dunque più frequentemente col deuterio, purchè resti nel reattore per un tempo abbastanza lungo.

Insistiamo ancora sul fatto che, nelle condizioni consi-

TABELLA II.

REAZIONI	Energia MeV	Reattività appross. (*)	OSSERVAZIONI (**)
Reazione indotte dai PROTONI:			
$H^1 + H^1 \rightarrow D^2 + \beta^+$	1,42	$4 \cdot 10^{-21}$	Solo raggi β
$D^2 + H^1 \rightarrow He^3 + \gamma$	5,5	$3 \cdot 10^{-2}$	» » γ
$T^3 + H^1 \rightarrow He^4 + \gamma$	19,8	0,3	» » γ
$Li^6 + H^1 \rightarrow He^4 + He^3$	3,8	$2 \cdot 10^{-3}$	
$Li^7 + H^1 \rightarrow 2He^4$	17,3	$1 \cdot 10^{-4}$	
$Be^9 + H^1 \rightarrow Be^{8*} + D^2$	1,6	$6 \cdot 10^{-6}$	
(seguita da $Be^{8*} \rightarrow 2He^4$)			
$B^{10} + H^1 \rightarrow C^{11} + \gamma$	8,6	$2 \cdot 10^{-3}$	Solo raggi γ
(seguita da $C^{11} \rightarrow B^{11}$)			
$B^{11} + H^1 \rightarrow 3He^4$	8,8	$25 \cdot 10^{-8}$	Solo raggi γ
$C^{12} + H^1 \rightarrow N^{13*} + \gamma$	1,9	$2 \cdot 10^{-5}$	
(seguita da $N^{13*} \beta^+ \rightarrow C^{13}$)			
$C^{13} + H^1 \rightarrow N^{14} + \gamma$	7,6	$1 \cdot 10^{-14}$	Solo raggi γ
$N^{14} + H^1 \rightarrow O^{15} + \gamma$	7,2	$1 \cdot 10^{-16}$	» » γ
(seguita da $O^{15} \beta^+ \rightarrow N^{15}$)			
$B^{15} + H^1 \rightarrow C^{12} + He^4$	4,8	$4 \cdot 10^{-13}$	
Reazioni indotte dai DEUTONI			
$D^2 + D^2 \rightarrow T^3 + H^1$ (47%)	4,03	unità	} Energia utilizzabile media 2,3 MeV
$\rightarrow He^3 + n$ (53%)	3,25		
$T^3 + D^2 \rightarrow He^4 + n$	17,58	30	} Energia utilizz. 3,6 MeV
$He^3 + D^2 \rightarrow He^4 + H^1$	18,34	0,5	
$Li^6 + D^2 \rightarrow Li^7 + H^1$ (20%)	5,02	}	} Energia utilizzabile media 12,38 MeV
$\rightarrow Be^{7*} + n$ (15%)	3,37		
(seguita da $Be^{7*} \rightarrow Li^7$)		0,36	
$\rightarrow He^4 + He^3 + n$ (15%)	1,79	}	} Energia utilizzabile media 1,7 MeV
$\rightarrow He^4 + He^4$ (50%)	22,36		
$Li^7 + D^2 \rightarrow Be^{8*} + n$	15,01	0,3	
(seguita da $Be^{8*} \rightarrow He^4 + He^4$)			
$\rightarrow He^4 + He^3 + n$	15,10		
Reazioni indotte dai TRITONI			
$T^3 + T^3 \rightarrow He^4 + 2n$	11,32	0,5	} Energia utilizzabile media circa 2 MeV
$He^3 + T^3 \rightarrow He^4 + D^2$ (43%)	14,31	1	} Energia utilizzabile media circa 10 MeV
$\rightarrow He^4 + H^1 + n$ (51%)	12,08		
$\rightarrow He^{5*} + H^1$ (6%)	11,13		
(seguita da $He^{5*} \rightarrow He^4 + n$)			
Reazioni indotte dai TRALFIONI			
$He^3 + He^3 \rightarrow He^4 + 2H^1$ (50%)	12,83	0,025	} Tutta l'energia è utilizzabile, valore medio 11,9 MeV
$\rightarrow Li^{5*} + H^1$ (50%)	11,—		
(seguita da $Li^{5*} \rightarrow He^4 + H^1$)			
$He^4 + He^3 \rightarrow Be^{7*} + \gamma$	1,5	$4 \cdot 10^{-18}$	Solo raggi γ
(seguita da $Be^{7*} \rightarrow Li^7$)			

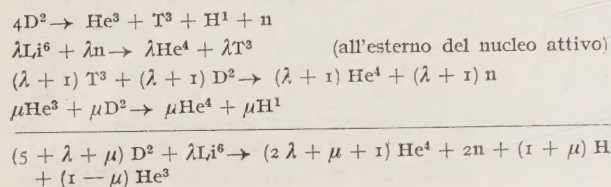
(*) La « reattività approssimata » è legata alle condizioni realizzabili in un reattore a fusione; i valori reali possono essere leggermente diversi; le reazioni comprendenti He^3 sono fortemente favorite da un aumento di temperatura.

(**) L'energia utilizzabile è quella che appare come energia cinetica dei frammenti pesanti carichi. Il significato reale di questa espressione è che tale energia è la sola che contribuisca a rendere la reazione autoeccitata. L'indicazione « solo raggi β o γ » significa che l'energia utilizzabile è praticamente nulla.

derate e che saranno precisate più avanti, è molto improbabile che un neutrone emesso dal focolare attivo possa essere catturato da un nucleo in questo focolare; ciò non è egualmente vero per il tralfio, che tuttavia possiede una sezione di cattura neutronica elevata.

Tenuto conto di queste diverse considerazioni, un reattore a fusione in stato d'equilibrio potrebbe essere sede del ciclo di reazioni definite dalla tab. III.

TABELLA III.



Tale ciclo contempla due parametri; il primo parametro λ rappresenta il rapporto dei consumi di Li^6 e di deuterio, il primo essendo all'esterno del focolare attivo e disposto in modo da captare i neutroni ivi emessi, ed il secondo essendo iniettato direttamente nel focolare attivo. Periodicamente, si dovrà trattare il rivestimento esterno di litio per estrarre il trizio, così da iniettare parimenti questo nel focolare attivo (figure 7, 8, 9). Il valore di λ si ripercuote sul consumo in trizio del nucleo attivo, da cui dipende la temperatura d'adescamento. Per i valori molto elevati di λ , quasi tutta l'energia liberata nel focolare attivo proviene dalla reazione trizio-deuterio; per $\lambda = 0$, al contrario, tutta l'energia proviene dalla reazione deuterio-deuterio. Poichè il litio è raro in natura, è probabile che si utilizzerà soprattutto all'inizio, quando il problema della temperatura sarà stato risolto di misura. Con l'esaurirsi dei giacimenti di litio, il progresso tecnico permetterà probabilmente di realizzare

temperature sempre più elevate nel nucleo centrale ed il consumo relativo di litio diminuirà, per annullarsi se sarà necessario.

Quanto al parametro μ , esso dipende dal tasso con cui i prodotti della prima fusione saranno autorizzati a reagire a loro volta, cioè in definitiva dal tempo durante il

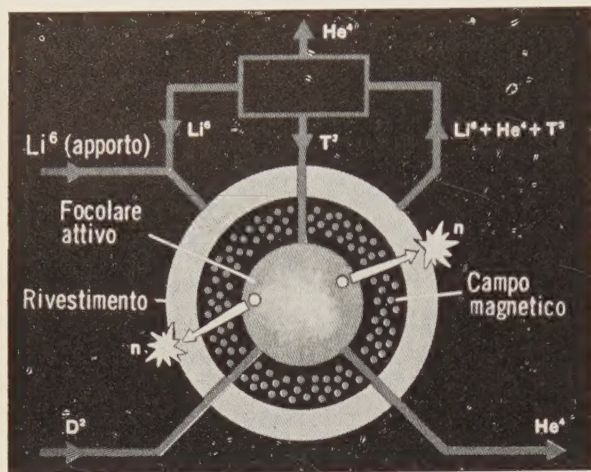


Fig. 7. — Schema di principio d'un reattore termonucleare autorigeneratore.

Nel foculare attivo, che probabilmente assomiglierà più ad una scarica elettrica che a qualsiasi altro dispositivo noto, si realizza la fusione del deuterio e del trizio ad una temperatura dell'ordine di 40 000 000 °K. Il gas caldo e ionizzato è tenuto lontano dalle pareti per mezzo d'un campo magnetico di forma conveniente. Questo foculare attivo emette neutroni non sottoposti al confinamento magnetico e che sono captati da un rivestimento di litio. Sotto l'azione di tale bombardamento neutronico, il litio si disintegra in elio e trizio. Si può fare in modo che la quantità di trizio generata nel rivestimento sia almeno uguale a quella consumata nel foculare attivo.

quale potranno rimanere nel reattore. Se questo tempo è molto breve rispetto a quello richiesto per la reazione completa, μ sarà praticamente nullo; se è molto lungo, μ sarà prossimo all'unità. Come mostreremo più avanti, la presenza di elementi aventi uno Z elevato nel foculare attivo, aumenta la dissipazione d'energia per irraggiamento in ragione di Z^2 ; il tralfo irraggia dunque, a pa-

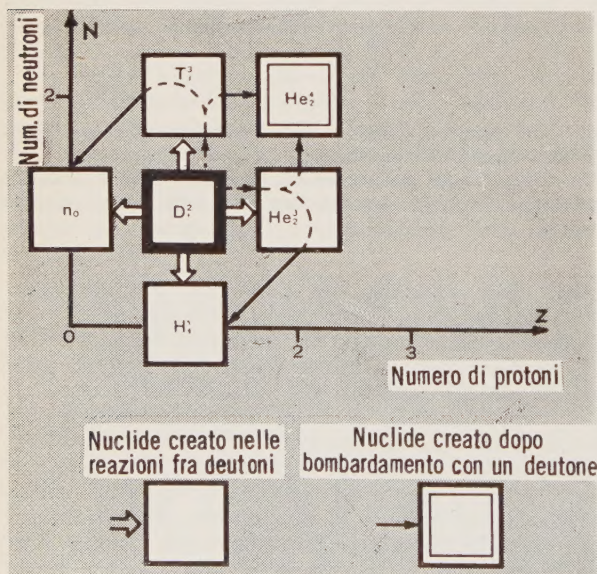


Fig. 8. — Dettaglio delle reazioni che hanno luogo nel foculare attivo.

Il deuterio (idrogeno di massa = 2) è suscettibile di fondersi con se stesso, dando sia il trizio (idrogeno di massa = 3) e idrogeno comune, sia il tralfo (elio di massa = 3) e neutroni. Ciascun prodotto primario di massa = 3 è suscettibile a sua volta di reagire col deuterio dando elio (di massa = 4) e, secondo i casi, idrogeno comune oppure neutroni.

rità di ogni altra condizione, quattro volte di più degli isotopi d'idrogeno, però fornisce, all'ingrosso, quattro volte più di energia utile, per cui la situazione in ciò che lo riguarda non è chiara; solo una vera esperienza nell'ambito d'un laboratorio potrà dirci quanto tempo interessi trattenerlo, cioè il valore migliore di μ .

Questo ciclo di reazioni permette di porre in evidenza due superiorità teoriche del reattore a fusione sul reattore a fissione. Dapprima la quantità del combustibile sintetico, generato nel rivestimento esterno, sarà sempre almeno uguale alla quantità consumata nel foculare attivo, come risulta direttamente dalle equazioni; poscia, i prodotti di fusione, in prevalenza elio-4, non sono radioattivi e non presentano problemi angosciosi d'eliminazione dei residui, come nel reattore a fissione.

Certamente, potranno esserci catture neutroniche parassite negli elementi strutturali, però esse avranno una importanza paragonabile a quanto succede nelle parti periferiche dei reattori a fissione: la quantità di materia

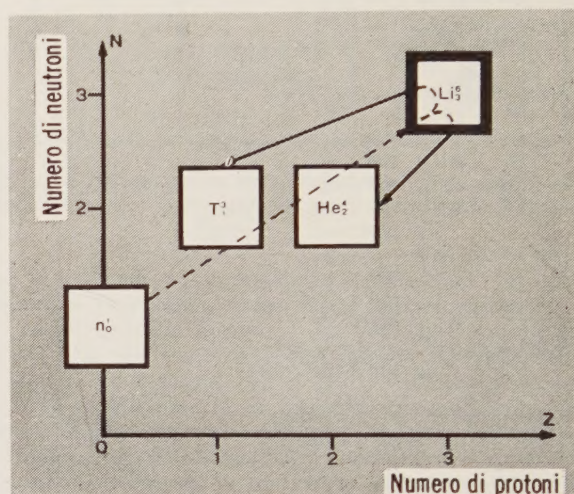


Fig. 9. — Reazioni che hanno luogo nel rivestimento.

I neutroni emessi nel foculare attivo sono captati nel rivestimento di litio. Sotto la loro azione, il litio di massa = 6 si disintegra in trizio ed elio.

radioattiva risultante sarà relativamente modesta e presenterà pochi problemi.

Ciò servirà non solo a stimolare considerevolmente le ricerche su questo nuovo tipo di reattore, ma costituirà anche un fattore economico essenziale in suo favore, quando il processo sarà stato messo perfettamente a punto.

5. - CONDIZIONI FISICHE RICHIESTE PER REALIZZARE UN REATTORE A FUSIONE.

Finora, la rappresentazione del ciclo di combustione relativo al reattore a fusione ha messo in evidenza piuttosto i vantaggi; è però il momento di considerare i problemi veramente formidabili che questo tipo di reattore pone alla fisica ed alla tecnologia.

Abbiamo ricordato come la natura abbia risolto questi problemi nelle stelle; è ben evidente che tale genere di soluzione deve essere seriamente modificata prima di pensare ad applicazioni tecnologiche.

Cinque problemi principali si pongono: la scelta del combustibile, la scelta della densità, la scelta della temperatura, la messa a punto d'un mezzo di confinamento per le regioni sottoposte a questa temperatura ed infine, la messa a punto d'un dispositivo d'adescamento.

La scelta del combustibile l'abbiamo fatta come principio al capitolo precedente: sarà un miscuglio di deuterio e di trizio, probabilmente prossimo, almeno all'inizio, alle parti uguali. Per tale fatto resta eliminato un

grande inconveniente delle stelle, considerate come macchina termica: la bassa densità di potenza. Il confronto delle cifre date alla tab. II per le reattività del deuterio-deuterio e deuterio-trizio da una parte, con quelle per la reazione idrogeno-idrogeno o le reazioni del ciclo di Bethe, mostra che esiste un fattore di parecchie migliaia di miliardi, a parità d'ogni altra condizione. Infatti, con una densità della materia dello stesso ordine di grandezza di

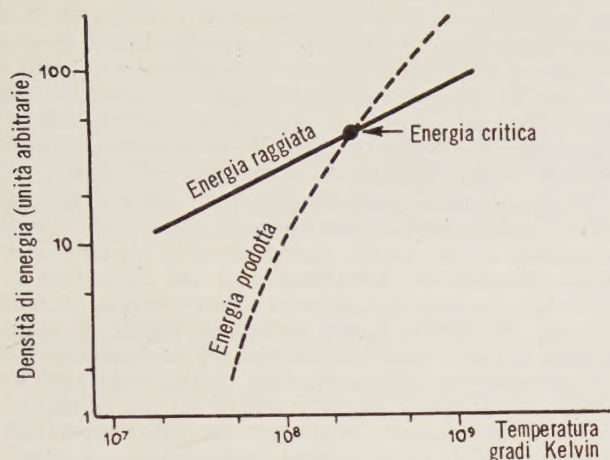


Fig. 10. — Come s'arriva alla nozione di temperatura critica in una reazione termonucleare.

L'energia prodotta varia secondo una potenza molto elevata della temperatura, mentre l'energia irradiata dal focolare attivo varia come la sua radice quadrata. Esiste quindi una temperatura, detta critica, per la quale si ha eguaglianza fra le due energie, e la reazione termonucleare diventa autonoma. Tale temperatura, per le reazioni più favorevoli, è nella gamma delle decine di milioni di gradi.

quello che esiste in una scarica per luminescenza o in un arco di raddrizzatore a vapore di mercurio, e purché il problema della temperatura sia risolto, la densità di potenza è la stessa che in un reattore a fissione.

Non dimentichiamo che questo deuterio ed il trizio sono completamente ionizzati. Il paragone con la scarica elettrica è interessante nel senso che il futuro reattore a fusione somiglierà molto probabilmente più a un raddrizzatore a vapore di mercurio, che a qualunque altro dispositivo tecnologico attualmente noto. Ben inteso, esso produrrà energia invece di trasformarla semplicemente.

Il calcolo dimostra che un gas totalmente ionizzato, nella gamma di temperature richieste per la produzione di reazioni termonucleari (decine di milioni di gradi) e mantenuto distaccato — vedremo presto in che modo — da qualsiasi parete solida, perde la sua energia quasi soltanto per emissione di raggi X, sotto forma di fondo continuo, che i fisici chiamano « Bremsstrahlung ». L'irraggiamento « normale » di Stephan-Boltzmann è trascurabile, poichè il nostro gas ionizzato, totalmente trasparente, non somiglia per niente ad un « corpo nero ».

Il calcolo dimostra che questa « Bremsstrahlung » è proporzionale alla radice quadrata della temperatura; essa è inoltre proporzionale a Z^2 ; la presenza, anche in proporzioni ridottissime, di impurità gassose aventi un valore di Z elevato, è capace d'accrescerla in proporzioni proibitive; di fatto, il reattore a fusione avrà esigenze di purezza del combustibile paragonabili a quelle del reattore a fissione.

Avendo una potenza irradiata variabile con la radice quadrata della temperatura, ed una potenza liberata dalla fusione variabile secondo una potenza molto più elevata, siamo condotti ad un grafico come quello della fig. 10. Questo mette in evidenza l'esistenza d'una temperatura critica al disotto della quale la potenza generata è inferiore alla potenza dissipata, ciò che porta all'estinzione della reazione subito dopo il suo eventuale adesa-

mento, ottenuto in un modo qualsiasi, ed al disopra della quale la reattività tende ad aumentare, per effetto d'un aumento della temperatura. Alla temperatura critica stessa, la potenza liberata è uguale alla potenza irradiata, e la reazione può procedere ad un tasso costante, per mezzo d'un adeguato controllo.

La temperatura critica è prossima a 400 milioni di °K per il deuterio puro, ed a 36 milioni di °K per un miscuglio in parti uguali di deuterio e trizio. Il calcolo dimostra che questi valori sono indipendenti dalla densità del mezzo che reagisce.

Certamente, queste sono temperature considerevoli rispetto a quanto è stato realizzato in precedenza, però la cosa più strana è che, per quanto siano formidabili, non sembra si debba aspettare molto a raggiungerle. Il problema assomiglia un poco a quello che si è presentato nel 1940 a proposito della fissione. A tale epoca ci si era resi conto che l'unione uranio-grafite poteva divenire critica se certe condizioni indispensabili di purezza fossero state realizzate; ma l'extrapolazione era di diversi ordini di grandezza rispetto ai valori raggiunti in precedenza; or bene questi ordini di grandezza sono stati raggiunti abbastanza rapidamente; anche qui, i valori più interessanti realizzati dapprima nei plasma delle scariche elettriche, erano dell'ordine di 100 000 °K, cioè restano da conquistare tre ordini di grandezza decimale. Secondo le ultime notizie venute dall'America (USA), esiste un tipo di macchina a « specchi magnetici » che permette di raggiungere circa 6 milioni di °K. Difficoltà s'oppongono provvisoriamente alla crescita della temperatura, ma si può sperare di eliminarle in qualche anno.

I procedimenti utilizzati saranno descritti, per quanto almeno si conosce, nella seconda parte dell'articolo.

Si osserva che un gas, anche rarefatto come quello di

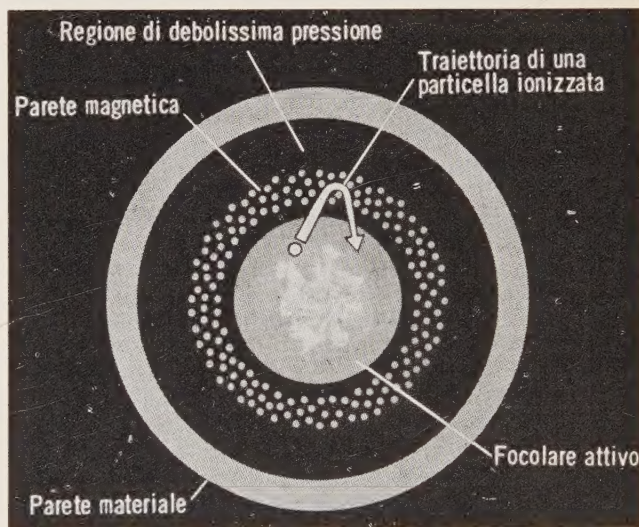


Fig. 11. — Principio del confinamento magnetico.

Il solo mezzo realizzabile per mantenere il focolare attivo alla temperatura critica distaccato dalle pareti materiali, consiste nel confinarlo per mezzo d'un campo magnetico convenientemente profilato. Questa figura spiega il principio del confinamento con un esempio molto semplificato, nel quale si suppone il campo omogeneo e nettamente delimitato nello spazio. Si vede che ogni particella carica (ricordiamo che il gas a questa temperatura è completamente ionizzato) che tenda ad allontanarsi dal focolare attivo vede la sua traiettoria curvarsi sotto l'azione del campo magnetico, ed è riportata verso il focolare.

una scarica elettrica, portato ad una simile temperatura esercita una pressione di parecchie migliaia o decine di migliaia di atmosfere; siamo così condotti ancora al problema di come contenerlo.

Di questo problema si conosce una sola soluzione possibile: l'impiego di quella che è stata spiritosamente chiamata la « bottiglia magnetica ».

Il contenimento con una parete solida è assolutamente impensabile. Non soltanto tutti i materiali noti si volatilizzano molto prima di queste temperature, ma se anche si supponesse d'impedire la volatilizzazione con una refrigerazione abbastanza spinta, l'energia sottratta al focolare attivo per tale fatto sarebbe tanta che il focolare non raggiungerebbe mai, o non potrebbe mantenere, la temperatura critica.

Al contrario, il confinamento magnetico non provoca

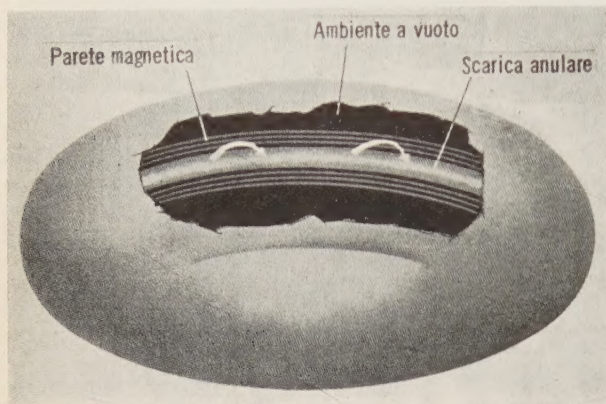


Fig. 12. — Confinamento torico.

Il confinamento schematizzato in fig. 11 è valido solo nel piano della figura: in direzione ortogonale il campo magnetico non modifica le traiettorie. Una soluzione interessante che rimedia a questo inconveniente consiste nel realizzare un confinamento torico, cioè un dispositivo torico di cui la fig. 12 rappresenta la sezione retta.

alcuna obiezione teorica e sembra essere sulla strada buona della messa a punto pratica. Si sa che le particelle cariche, sottoposte ad un campo magnetico, descrivono traiettorie elicoidali. Le figure 11 e 12 indicano come questo principio potrebbe essere messo in opera per rimandare verso il focolare attivo le particelle che tentano di scappare. Il calcolo mostra che tutto avviene come se il campo magnetico esercitasse una certa pressione sul focolare attivo, pressione il cui valore è numericamente uguale, in un sistema d'unità omogenee, alla densità dell'energia magnetica $B \cdot H/2$. Basta quindi produrre un campo magnetico tale che questa pressione sia uguale a quella del gas ionizzato (circa 10000 atmosfere), perchè l'insieme sia in equilibrio. Il calcolo mostra che i valori del campo magnetico richiesti sono elevati, ma realizzabili.

Le collisioni multiple, rappresentate schematicamente sulla fig. 13, mostrano che il confinamento non è assoluto. In realtà, il campo magnetico non equivale ad una parete a tenuta perfetta, ma piuttosto ad una parete porosa. Il tasso di dispersione per un dato spessore della « parete magnetica » è inversamente proporzionale al quadrato dell'induzione B . Ciò costituisce una causa supplementare di perdita d'energia, di cui bisognerà tener conto nel calcolo preciso, ma che possiamo provvisoriamente trascurare. V'è d'altronde un'altra causa supplementare di perdita, dipendente dalle traiettorie elettroniche curve nel campo magnetico: questi elettroni, infatti, irradiano nel campo onde centimetriche, e questo irraggiamento s'aggiunge alla radiazione X della « Bremsstrahlung ». Il complemento non è anch'esso molto importante.

Si comprende attualmente perchè non si possa né contare sui raggi γ , né sui neutroni, per mantenere la temperatura della zona attiva; a causa della loro neutralità elettrica, i neutroni non sono sottoposti all'azione incurvante del campo magnetico, per cui sfuggono immediatamente dal focolare attivo per andare a colpire le pareti solide, che necessariamente devono trovarsi in qualche posto dietro la « parete magnetica ».

Ci resta da dire qualcosa sull'adescamento della reazione termonucleare. Se in un punto qualunque d'un mezzo convenientemente confinato e ad un istante qualunque, la temperatura critica viene raggiunta o superata, la reazione termonucleare s'innesca e si manterrà fino all'esaurimento del combustibile (ciò che, a meno d'un rinnovamento continuo, non può durare più di qualche secondo, data la densità ammessa).

Per quanto formidabile sia la temperatura, essa non ha nulla d'eccezionale se si considera l'energia cinetica delle particelle sotto il punto di vista elettrico, cioè in termini di tensione acceleratrice equivalente: questa è da qualche migliaio a qualche decina di migliaia di volt solamente, per cui sembra facile raggiungere la temperatura con mezzi elettrici, purchè un confinamento conveniente venga a limitare la dispersione d'energia.

Fra i procedimenti che sembrano più favoriti, bisogna citare la compressione adiabatica per mezzo d'un campo magnetico mobile; questo metodo avrebbe inoltre il vantaggio di condurre eventualmente ad una liberazione diretta dell'energia di fusione sotto forma elettrica, secondo un ciclo che ricorda quello del motore Diesel. Si realizzerrebbe la prima fase, introduzione del combustibile, con un procedimento meccanico; tale combustibile sarà ionizzato e compresso magneticamente dal campo magnetico, con riscaldamento adiabatico, fino alla temperatura d'autoaccensione della reazione termonucleare. A questo punto, la pressione del focolare attivo oltrepasserà largamente quella del campo magnetico, che ne sarebbe respinto; ora, un tale campo magnetico mobile sarebbe suscettibile di generare direttamente energia elettrica in conduttori convenientemente disposti, gli stessi molto probabilmente che produrrebbero il campo magnetico di compressione. Dopo l'accensione (ed il raffreddamento adiabatico) i prodotti di fusione sarebbero evacuati con mezzi puramente meccanici ed il ciclo ricomincerebbe.

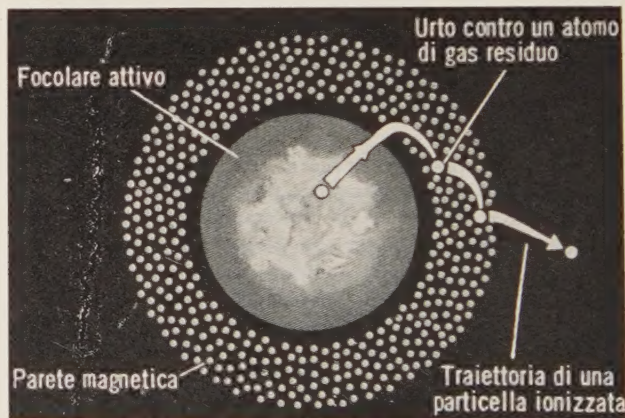


Fig. 13. — Succede però che alcune particelle possono sfuggire al confinamento torico quando subiscono parecchi urti consecutivamente in date condizioni. Si deve quindi considerare leggermente poroso.

La fig. 14 illustra, in forma volgarizzata, questa possibilità.

È possibile che la sua messa a punto non sia immediata; in questo caso resterebbe sempre la risorsa d'utilizzare un ciclo termico tradizionale con ad esempio il litio (liquido) del rivestimento, come fluido per il trasferimento del calore.

In conclusione, sia per l'ampiezza delle risorse messe a disposizione e per i vantaggi teorici che presenta, sia per l'eleganza della soluzione che permette di considerare, il reattore a fusione appare come la soluzione ideale.

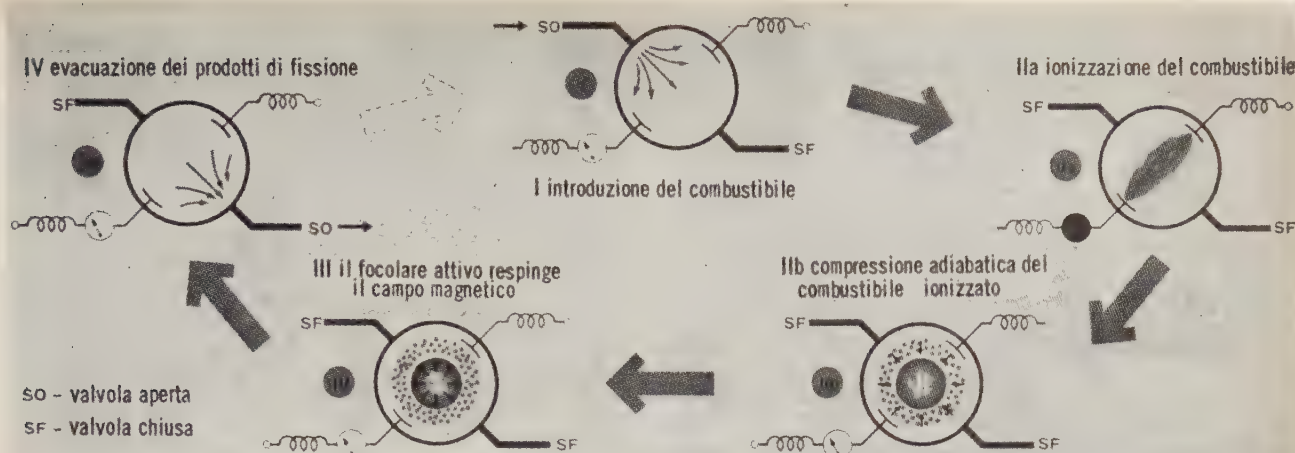


Fig. 14. — Esempio di «ciclo a 4 tempi» realizzabile nel focolare attivo di un reattore a fusione.

Si può pensare di far funzionare un reattore term nucleare secondo un principio strettamente analogo a quello del motore Diesel.

I Tempo: introduzione meccanica del combustibile fresco (deuterio più trizio)
II Tempo: compressione adiabatica sotto l'azione del campo magnetico di confinamento (perché questo diventi efficace bisogna prima ionizzare il gas per mezzo d'una scarica elettrica ausiliaria, II^a). Alla fine

della compressione, la temperatura critica è raggiunta o superata, e le reazioni s'adescano.

III Tempo: espansione; la pressione del gas, accresciuta dalle reazioni term nucleari, diventa superiore alle possibilità del confinamento magnetico.
IV tempo: scarico meccanico dei prodotti della reazione.

II Parte - STATO ATTUALE DELLE RICERCHE

6. - VEDUTA D'INSIEME.

Abbiamo ora terminata la prima parte con una descrizione anticipata piena di promesse. È venuto il momento di parlare concretamente e di fare il punto. Quale distanza ci separa ancora dallo stato ideale?

Nello stadio sperimentale, i problemi da risolvere possono approssimativamente essere suddivisi in due categorie principali:

a) problemi relativi all'ottenimento d'un'altissima temperatura, dell'ordine di almeno 36 milioni di gradi (soglia d'autoadescamento della reazione deuterio-trizio);
b) problemi relativi al confinamento del gas ionizzato per mezzo d'un campo magnetico, in modo da impedirgli di raffreddarsi al contatto della parete solida (ed eventualmente di volatilizzarla) e soprattutto di mantenere un tale confinamento in una configurazione stabile, per durate dell'ordine dei tempi di reazione dei gas confinati.

L'esperienza sembra dimostrare che il secondo gruppo di problemi è sensibilmente più arduo da risolvere del primo.

Gli altri problemi, e specialmente quelli relativi alla purezza dei materiali da mettere in opera, all'utilizzazione dei neutroni emessi dal focolare attivo in un rivestimento di litio di forma adeguata, ed anche quelli relativi all'utilizzazione diretta dell'energia di fusione sotto forma elettrica, sono considerati del tutto secondari rispetto ai primi. La regolazione della reazione e certi problemi sui danni dell'irraggiamento, potranno eventualmente presentare qualche difficoltà, ma vi sono poche probabilità che siano notevoli.

La realizzazione d'una temperatura dell'ordine di decine di milioni di gradi, ed il suo mantenimento in un mezzo confinato magneticamente a distanza da ogni parete erano considerati, ancora qualche anno fa, come una sfida lanciata ai fisici; è certamente notevole che subito, non una, ma parecchie soluzioni siano state concepite, di cui alcune sono sulla buona strada della messa a punto.

Nella seconda parte, spenderemo prima alcune parole sui dispositivi proposti erroneamente, nel senso che malgrado le apparenze non hanno alcuna probabilità di divenire un giorno sorgenti d'energia. Parleremo in seguito dell'arco elettrico confinato dal proprio campo magnetico, od in parte dal proprio ed in parte da un campo magnetico esterno, e ciò sotto le due forme distinte del-

l'arco rettilineo e dell'arco torico; descriveremo in seguito lo Stellarator e le diverse macchine a specchi magnetici; diremo infine qualcosa della tecnica del tutto diversa dei plasmoidi e della fusione catalizzata per mezzo di mesoni. L'articolo si concluderà con alcune considerazioni su gli studi teorici condotti attualmente in parallelo con le ricerche sperimentali ora dette.

7. - CONSIDERAZIONI SU UN CERTO NUMERO DI DISPOSITIVI INFRUTTUOSI.

Molto prima dell'inizio del vero programma di ricerche sulla fusione (che tutt'al più avvenne nel 1950, mentre la fase attiva si limita agli anni che ci separano dalla prima conferenza di Ginevra del 1955), alcuni fisici ed inventori dall'immaginazione fertile avevano concepito dispositivi nei quali questa energia poteva essere liberata in quantità misurabili. Passandone in rassegna alcuni vedremo, per mezzo di esempi, il punto debole dell'argomentazione su cui si basano.

Secondo un'opinione, ancora relativamente diffusa nel pubblico, un dispositivo del tipo acceleratore di particelle potrebbe essere perfezionato fino a produrre energia elettrica, invece di consumarne.

Consideriamo il caso più sfavorevole: un acceleratore di tritoni (nuclei di trizio) bombarda un bersaglio di deuterio (ghiaccio pesante condensato per mezzo d'azoto liquido, ad esempio).

Per una tensione d'accelerazione di 100 kV, il rendimento di tale reazione è dell'ordine di 1/10 000, cioè bisogna lanciare circa 10 000 tritoni sul bersaglio per ottenere una fusione; gli altri 9 999 tritoni perdono la loro energia per urto contro gli elettroni periferici o sono diffusi dai nuclei di deuterio, e finiscono per immobilizzarsi senz'aver reagito. Il bilancio energetico è il seguente: l'unica fusione restituisce circa 17 500 000 Ve; l'accelerazione dei 10 000 tritoni esige un miliardo di voltelettroni; anche trascurando tutte le altre cause di perdite (e sono numerose) si è lontani dal raggiungere un bilancio favorevole; ora, nessun'altra reazione, in nessuna condizione, arriva ad un bilancio più favorevole.

Una proposta interessante consiste nel lanciare il fascio di particelle, non su un bersaglio solido, ma su un gas ionizzato. In questo caso il rendimento della reazione migliora, infatti i corpuscoli incidenti non perdono più energia per ionizzare il bersaglio, in altre parole, la loro interferenza con gli elettroni diventa trascurabile. Resta la diffusione esercitata dai nuclei; invece d'una reazione

in un caso su diecimila, si arriva forse all'uno per mille (la probabilità della diffusione semplice essendo circa mille volte più grande di quella della reazione), però il bilancio energetico resta ancora nettamente sfavorevole, come si può vedere con un calcolo rapido.

Il dispositivo a bersaglio gassoso è tuttavia interessante nel senso che ci conduce ad avvicinarci al confinamento magnetico. Di fatto, se un campo magnetico conveniente obbligasse i corpuscoli diffusi a *ritornare* verso il bersaglio gassoso, tanto da farli reagire, il dispositivo potrebbe riuscire a produrre più energia di quanta ne consumi; infatti, una sola fusione fornisce abbastanza energia per accelerare 175 particelle (tutte le altre cause di perdita essendo trascurate) ciò che fa nascere una certa speranza. E inoltre facile dimostrare che, determinando un trasporto d'energia sufficiente fra i prodotti della reazione ed il gas che non ha ancora reagito, l'acceleratore non sarebbe nemmeno più necessario, dopo un certo tempo.

Per ragioni analoghe, i dispositivi nei quali due getti di particelle sono lanciati l'uno contro l'altro, con un orientamento qualunque, convengono solo se aiutati dal confinamento magnetico, ed in tal caso, l'acceleratore ha solo funzione d'adescamento.

È stato proposto di realizzare un confinamento per mezzo d'un involuppo gassoso inattivo, paragonabile a quello delle stelle. Il calcolo dimostra che tali stelle artificiali non possono esistere, dato il valore della temperatura da mantenere, se non assumendo dimensioni del tutto irraggiungibili coi mezzi tecnici normali.

È stato proposto egualmente di addomesticare la bomba all'idrogeno, sostituendo l'esplosione distruttiva unica con una serie di «microesplosioni» comandate da speciali detonatori da mettere a punto. Tuttavia, perché una quantità apprezzabile di materia reagisca in simili microesplosioni, senza alcun confinamento delle particelle, bisogna realizzare temperature ancora più elevate di quelle richieste dai dispositivi a confinamento magnetico. La messa a punto del detonatore, per conseguenza, appare praticamente impossibile.

Termineremo dicendo qualche cosa sulle tecniche che finora hanno permesso di raggiungere le temperature più elevate.

La *tecnica dei fili esplosivi* consiste nel far passare un violento impulso di corrente in un conduttore metallico. Questo volatilizza ed il vapore viene portato a tempera-

tura elevata, che è stata stimata di 20 000 °K. È da notare che l'evoluzione della scarica nel gas risultante dalla volatilizzazione del filo è strettamente simile a quella dell'arco confinato magneticamente, di cui parleremo più avanti.

Il *getto di plasma* (fig. 15) è il dispositivo più potente finora conosciuto per produrre una temperatura elevata allo stato di regime. La sua geometria è sensibilmente quella d'una sorgente di ioni per effetto d'un acceleratore: una scarica elettrica sprizza fra due elettrodi (accuratamente refrigerati); un elettrodo è perforato per lasciare passare un getto di plasma a temperatura molto alta, capace di portare i materiali che vi sono esposti a 15 000 °K.

Ricorderemo ancora che le onde d'urto, e specialmente quelle emesse da *proiettili rapidi in movimento in un gas* sono suscettibili di dar luogo a temperature dell'ordine di 25 000 °K.

Questi diversi valori numerici, che sono un po' più di tre ordini di grandezza decimale al disotto di quelli richiesti per dare la fusione automantenuta del miscuglio deuterio-trizio, permettono di giudicare il cammino che occorreva percorrere, all'inizio, per mettere a punto il reattore a fusione. I risultati che riporteremo in seguito avranno così il loro giusto risalto e permetteranno di giudicare quale frazione di strada sia già stata percorsa.

8. - L'AUTOSTRIZIONE MAGNETICA.

Abbiamo già ricordato che il futuro reattore avrà molte probabilità d'assomigliare piuttosto ad un raddrizzatore a vapore di mercurio che a qualunque altro dispositivo tecnologico attuale. Le ragioni di tale affermazione sono numerose.

Dapprima, il mezzo nel quale si produrranno le fusioni sarà un gas ionizzato o plasma; ora, questo mezzo è soprattutto conosciuto per la sua esistenza praticamente in tutte le scariche elettriche gassose. Inoltre, la componente elettronica di questo plasma è, nel raddrizzatore, ad una temperatura (definita dalla sua agitazione termica e non dalla misura fatta con un termometro) estremamente elevata: da 10 000 a 30 000 °K. Certamente, gli ioni sono nettamente più «freddi», ma si sa, in base allo studio generale delle scariche, che la temperatura degli ioni aumenta e tende verso quella degli elettroni con l'aumentare del grado di ionizzazione (frazione al cui numeratore è il numero d'atomi ionizzati ed al denominatore il numero totale di atomi) fino all'unità. Infine, è stato scoperto che l'arco del raddrizzatore a vapore di mercurio tende, col crescere della corrente, a perdere il contatto con la parete, a seguito del confinamento magnetico parziale, extrapolando il quale si dovrebbe arrivare come principio alle condizioni favorevoli al mantenimento d'una reazione di fusione.

Come principio, esiste dunque una soluzione relativamente semplice del problema, che consiste nel realizzare un arco più o meno simile: il vapore di mercurio è sostituito dal deuterio o da un miscuglio di deuterio e trizio; occorre anche aumentare la corrente, sia per aumentare il grado di ionizzazione che per migliorare le condizioni di confinamento magnetico.

In un raddrizzatore a vapore di mercurio il grado di ionizzazione è basso; esso varia fra qualche permille e qualche per cento, secondo la densità della corrente. I calcoli preliminari mostrano che occorrono intensità di corrente valutabili a milioni di ampere, nel deuterio o nel miscuglio deuterio-trizio, per ottenere una ionizzazione quasi totale, condizione indispensabile per un buon funzionamento. Una corrente di qualche milione d'ampere è certamente difficile da realizzare, ma non rappresenta un'impossibilità tecnica. Tuttavia, un arco *statico* di qualche milione d'ampere non realizza che una parte delle condizioni richieste. L'ionizzazione vi sarebbe probabilmente totale, o poco meno; il campo magnetico proprio dell'arco sarebbe largamente sufficiente per man-

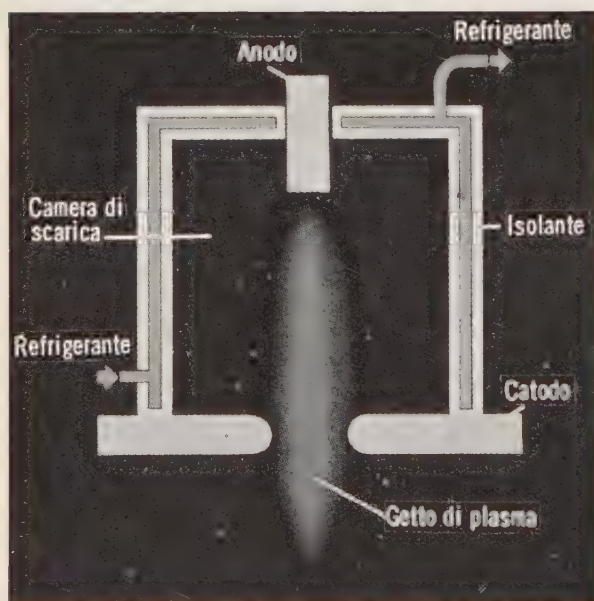


Fig. 15. — Il getto di plasma.

Si tratta d'un metodo particolarmente efficace per produrre temperature elevate in condizioni normali.

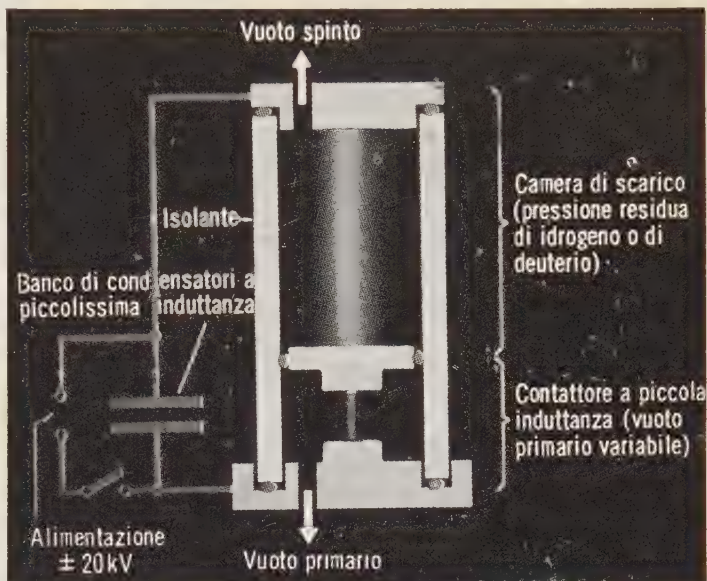
tenere il distacco dalle pareti; la temperatura ionica sarebbe elevata ed eguale press'a poco alla temperatura elettronica, ma entrambe sarebbero verosimilmente nella gamma delle decine, od a rigore, delle centinaia di migliaia di gradi. Subito è apparsa la necessità d'un elemento supplementare destinato a portare il plasma, almeno una volta per tutte, all'inizio della sua esistenza, ad una temperatura di qualche decina di milioni di gradi. Ora, ci troviamo nelle condizioni ideali di applicare la compressione adiabatica del plasma, sotto l'azione del campo magnetico; basta realizzare un campo magnetico crescente nel tempo abbastanza rapidamente perchè l'aumento di temperatura conseguente al riscaldamento non abbia tempo di dissiparsi. Il calcolo mostra, e l'esperienza sembra confermare, che la derivata della corrente dovrebbe raggiungere un valore dell'ordine di 10^{12} a 10^{13} A/s,

La fig. 16 schematizza il genere di dispositivo utilizzato. Saggi di questo genere sono stati descritti per la prima volta nel 1956 dal fisico sovietico Kourtchatov, che dava per certo d'aver già raggiunto a quell'epoca temperature dell'ordine di 1 500 000 gradi, con archi percorsi da circa 1 MA. In realtà, esperienze di questo genere erano già state realizzate agli USA ed in Inghilterra; la Francia, la Svezia e la Germania hanno annunciato più recentemente risultati comparabili.

La tecnica sperimentale è la seguente: si carica a tensione moderata (qualche kV) un banco di condensatori specialmente progettati per avere un'induttanza parassita minima; lo si scarica poscia attraverso il tubo per mezzo d'un contattore, pure progettato per un'induttanza minima. Un metodo molto usato consiste nell'impiegare un tubo ausiliario a scarica, in serie col tubo principale,

Fig. 16. — Arco strozzato rettilineo.

Diamo qui un esempio del dispositivo lineare per lo studio dell'autostrizione magnetica. Si carica una batteria di condensatori, a sinistra, che in seguito viene scaricata sul tubo propriamente detto attraverso un contattore a piccola induttanza, costituito d'un intervallo d'aria nel quale si fa progressivamente diminuire la pressione (« vuoto primario ») fino alla scarica disruptiva. Il tubo, che è riempito d'idrogeno o di deuterio, deve essere previamente svuotato accuratamente (« vuoto spinto »). La stabilità dell'arco dipende molto dalla precisione della lavorazione del tubo e dei suoi elettrodi. Se il tubo viene riempito con deuterio, si verifica emissione di neutroni nell'istante, in cui la scarica s'interrompe.



cioè che la corrente finale di qualche MA dovrebbe essere raggiunta in 1 μ s circa. Le dimensioni finali della scarica strozzata sono estremamente ridotte; la sua sezione trasversale efficace non supera probabilmente 0,01 mm², il riscaldamento adiabatico per compressione, dalle dimensioni di qualche decimetro di diametro del recipiente fino a dimensioni così ridotte, può dare il riscaldamento richiesto.

Un'interpretazione del tutto diversa dello stesso fenomeno richiama l'idea d'accelerazione in direzione d'un bersaglio gassoso ionizzato, confinato magneticamente: questo campo magnetico è inteso ad accelerare gli elettroni della scarica secondo il principio del betatrone, sebbene ci troviamo in presenza d'un betatrone che inietta le sue particelle accelerate in un ambiente confinato magneticamente.

Una tale scarica, può diventare una sorgente d'energia elettrica? Il calcolo mostra che l'energia totale liberata dalle fusioni potrebbe essere di qualche centinaio di MW per metro d'arco. Anche se il ciclo termico fosse l'unico mezzo per convertire questa energia in elettricità, con un rendimento che non supera il 25÷30%, è ben evidente che l'energia consumata nella scarica elettrica stessa è molto inferiore a tale cifra, per cui la maggior parte dell'energia elettrica così generata potrebbe essere utilizzata altrimenti. Come abbiamo visto, esiste inoltre una speranza ragionevole di poter fare a meno del ciclo termico, ciò che migliorerebbe ancora la situazione.

Per generare correnti di questo ordine, e soprattutto realizzare in partenza variazioni così forti, il metodo usato correntemente consiste nello scaricare un condensatore a bassa induttanza in corto circuito sulla scarica.

inizialmente a pressione atmosferica, nel quale si fa il vuoto. Ad un dato istante, la pressione cala ad un valore tale da dare una scarica disruptiva nel tubo ausiliare, che determina poi la scarica nel tubo principale.

Perchè un simile dispositivo possa diventare un generatore d'energia, bisogna che la scarica resti stabile per un tempo sufficiente, non soltanto per consentire di raggiungere la temperatura critica, ma anche di consumare una parte apprezzabile del combustibile di fusione presente nel tubo; la durata prevista per questo fenomeno successivo è dell'ordine di un secondo; dieci millisecondi di stabilità alla temperatura critica darebbero quindi un « rendimento di combustione » dell'ordine dell'1%; ciò è considerato generalmente un minimo al disotto del quale nessun dispositivo, anche sperimentale, potrebbe funzionare correttamente. Ora, cosa si osserva? Una scarica in autostrizione magnetica intensa è sottoposta a molte cause d'instabilità, che sono state messe in evidenza con calcoli teorici prima d'essere confermate sperimentalmente. Fra queste instabilità bisogna segnalare:

a) l'instabilità del tipo « gomito » (figure da 17 a a 17 c) per la quale la scarica sviluppa una deviazione laterale; un esame rapido delle linee di forza magnetiche mostra che la « pressione magnetica » è più intensa sulla faccia concava che su quella convessa; ciò tende ad ampliare il gomito fino a distruggere la colonna;

b) l'instabilità del tipo « salsiccia » per la quale la scarica, pur restando rettilinea, sviluppa una o più strizioni locali (figure 18 a a 18 c); qui ancora l'esame delle linee di forza magnetiche indica l'esistenza d'un eccesso di « pressione magnetica » che tende a strangolare maggiormente le zone dove si è adescata una strizione.

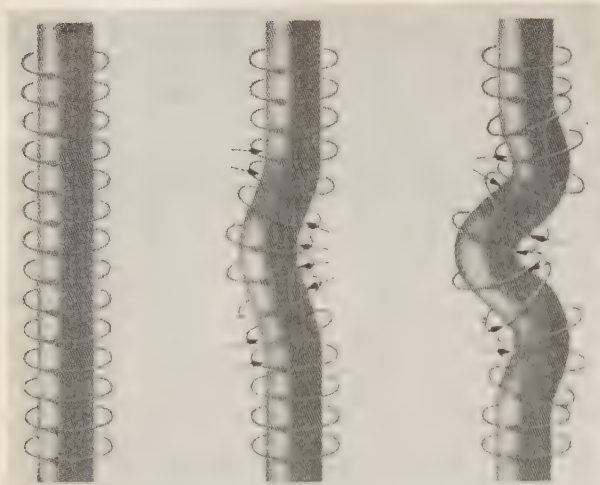


Fig. 17. — Instabilità «gomito».

Un arco perfettamente rettilineo potrebbe essere confinato dal suo proprio campo magnetico (fig. 17 a), però questo confinamento è instabile. Infatti, ad ogni minima deformazione prodotta da una causa qualsiasi (fig. 17 b), la «pressione magnetica» all'interno del gomito supera quella esistente all'esterno, così da esaltare il gomito (fig. 17 c) fino ad interrompere la scarica. La durata della stabilità è compresa fra qualche μs per un tubo qualunque e qualche decina di μs per un tubo lavorato con la maggior cura possibile, in modo da evitare le cause intrinseche d'instabilità.

Queste instabilità determinano una rottura della scarica in qualche μs ; la rottura della colonna produce una emissione parassita di neutroni, attribuibili a reazioni di fusione, e piuttosto del tipo «acceleratore» che del tipo «termonucleare», che fanno intervenire certe classi privilegiate di deutoni accelerati durante i fenomeni di rottura, e non la massa del gas ionizzato.

Dobbiamo rinunciare a produrre energia con questo sistema? No di certo; l'esperienza ha immediatamente mo-

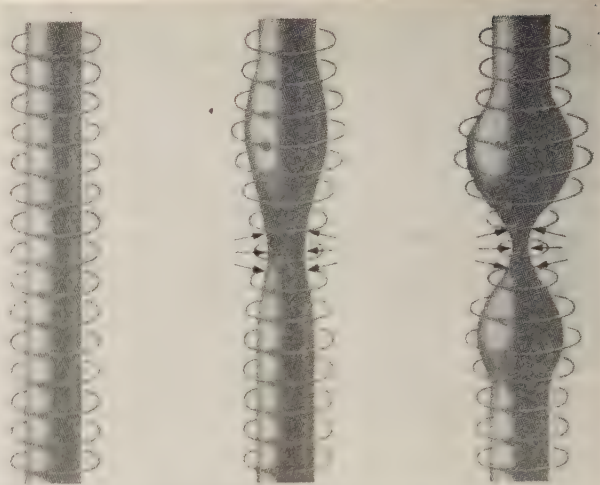


Fig. 18. — Instabilità «salsiccia».

Esistono altri generi d'instabilità di cui questa è la più importante. Se una strizione s'adesca per una ragione qualsiasi (fig. 18 b), la «pressione magnetica» in corrispondenza d'essa supera quella regnante in tutte le altre parti della scarica e la strizione s'esalta (fig. 18 c) fino ad interrompere la scarica. Una parte delle instabilità sono eliminate quando il conduttore di ritorno è un tubo coassiale con la scarica, lavorato con molta cura e perfettamente centrato.

tamente all'esterno della parete propriamente detta (in vetro, porcellana, quarzo, ecc.) e di utilizzarlo a quello scopo (fig. 19);

b) in generale, si può aumentare considerevolmente le durate di stabilità se le cause geometriche d'instabilità sono, all'inizio, ridotte al minimo; ciò implica una perfetta simmetria ed una lavorazione precisa del tubo di scarica e degli elettrodi, del conduttore di ritorno di cui si è parlato sopra, ecc.;

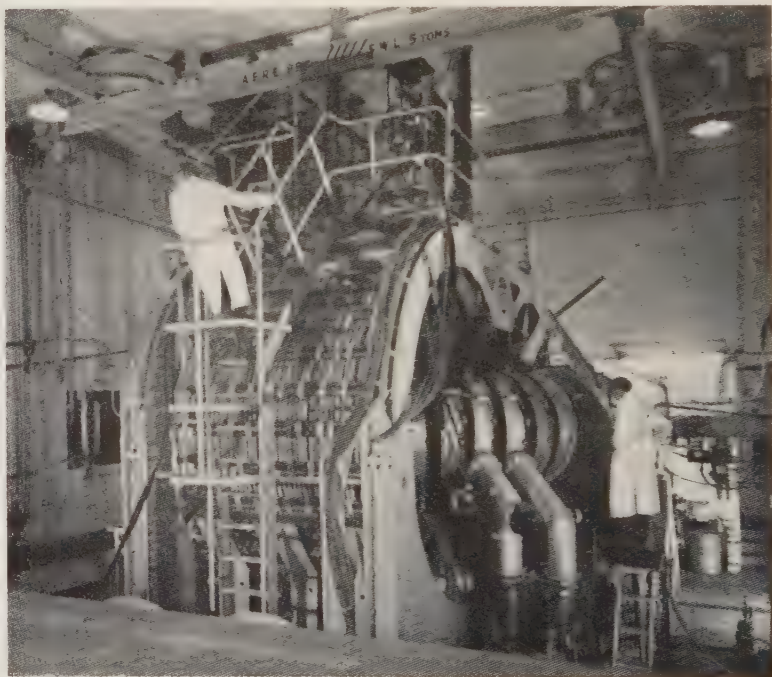


Fig. 19. — Conduttore di ritorno coassiale con la scarica.

Altri generi d'instabilità sono eliminati con l'impiego d'un campo magnetico esterno, le cui linee di forza magnetiche siano parallele all'asse. Questo campo si sovrappone a quello dell'arco per dare una configurazione elicoidale.

strato che si può aumentare considerevolmente le durate di stabilità usando certi artifici, precisamente:

a) la presenza d'una parete conduttrice attorno al tubo assicura l'esistenza di correnti indotte che influiscano sulle linee di forza magnetiche nel senso di tendere a ridurre l'instabilità; l'effetto è soprattutto evidente se questa parete è ben simmetrica rispetto alla scarica; la direttiva attuale consiste nel porre il conduttore di ritorno, sotto forma di un manicotto cilindrico, immedia-



Zeta, la macchina di ricerche britannica. La pubblicazione dei primi risultati ottenuti con essa ha attirato l'attenzione dei non specialisti sulle possibilità della fusione nucleare.

c) il calcolo mostra, e l'esperienza conferma, che si possono ottenere risultati sorprendenti se si sovrappone al campo magnetico proprio dell'arco, un campo magne-

tico esterno, le cui linee di forza siano parallele alle linee di corrente, invece che perpendicolari (fig. 20).

Quest'ultima possibilità è stata studiata particolarmente durante il 1957. La teoria dimostra che esistono

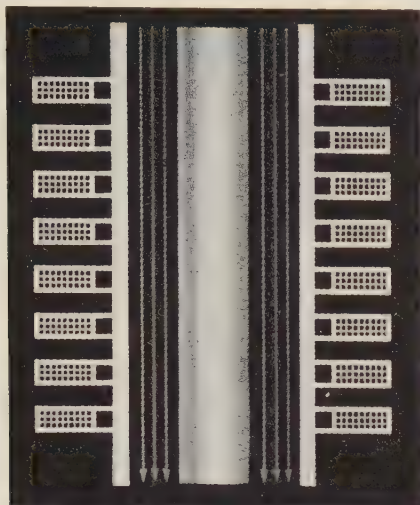


Fig. 20. — Campo magnetico longitudinale.

Altri generi d'instabilità sono eliminati con l'impiego d'un campo magnetico esterno, le cui linee di forza magnetiche siano parallele all'asse. Questo campo si sovrappone a quello dell'arco per dare una configurazione elicoidale.

configurazioni *indefinitamente* stabili che rispondono alle seguenti caratteristiche:

a) esiste una parete metallica (conduttore di ritorno) in prossimità della scarica e perfettamente simmetrica rispetto ad essa, che la inguaina su tutta la lunghezza;

b) l'arco stesso è *cavo* (fig. 21): esso racchiude linee di forza magnetiche parallele al suo asse; all'esterno, le linee di forza magnetiche sono elicoidali, risultando dalla sovrapposizione del campo magnetico proprio e del campo magnetico esterno;

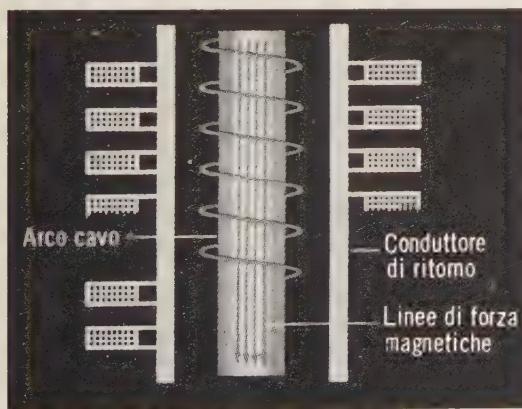


Fig. 21. — Configurazione dell'arco stabilizzato magneticamente.

Se il campo magnetico esterno preesiste all'accensione dell'arco, le linee di forza magnetiche sono « imprigionate » nella scarica, che diventa cava. All'interno il campo magnetico è longitudinale; all'esterno è elicoidale, però con una componente longitudinale minore di quella che regna all'interno. Le linee di corrente sono egualmente elicoidali, ma con passo contrario. Le « pressioni magnetiche » interna ed esterna si fanno equilibrio; entrambe superano largamente la pressione meccanica.

c) lo spessore del « tubo » costituito dall'arco è piccolo rispetto al suo diametro.

L'esperienza mostra che si guadagna almeno 1000 volte sulla durata della stabilità, che si può valutare a

millisecondi ed a decine di ms. Le figure 22 e 23 mostrano come la presenza di questo campo magnetico elimina le instabilità del tipo « gomito » e « salsiccia »; la fig. 24 mette in evidenza il compito del manicotto conduttore riguardo agli spostamenti laterali dell'arco.

Osserviamo tuttavia che un arco rettilineo, come l'abbiamo supposto finora, non rappresenta una soluzione

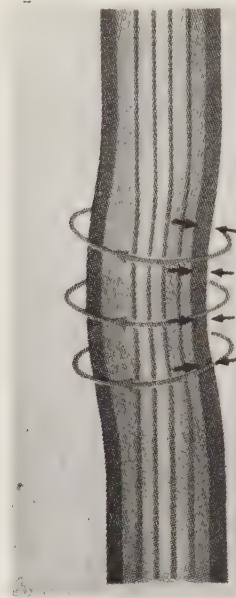


Fig. 22. — Eliminazione dell'instabilità « gomito ».

Se in un arco cavo, come quello della fig. 21, appare un « gomito », la pressione magnetica interna aumenta più rapidamente di quella esterna, cosicchè il gomito tende a riassorbirsi.

completa del problema del confinamento; per quanto perfetta sia la stabilizzazione in senso laterale, la zona attiva della scarica non manca di toccare le pareti solide alle due estremità, dove si trovano gli elettrodi. Fortunatamente, esiste una soluzione che evita questo inconveniente; basta usare l'*arco torico*.

Il principio dell'arco torico può essere compreso chia-

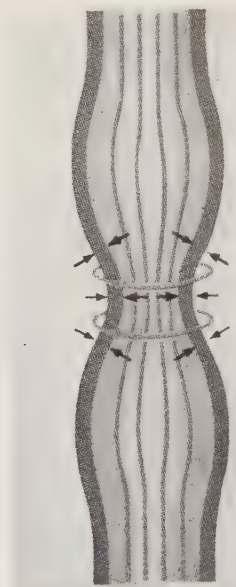


Fig. 23. — Eliminazione dell'instabilità « salsiccia ».

Il ragionamento è una semplice transposizione di quello relativo alla fig. 22

ramente dalla fig. 25, che rappresenta un trasformatore il cui secondario è costituito da un tubo a scarica in corto circuito. Se il gas all'interno è ionizzato all'inizio con un processo qualunque (pastiglia radioattiva, strato di materia fotosensibile, ecc.) il passaggio d'una corrente nel primario determina un'altra corrente nel secondario, d'accordo con le leggi classiche dell'elettrotecnica. Però questa volta la scarica, non avendo più elettrodi, potrà,

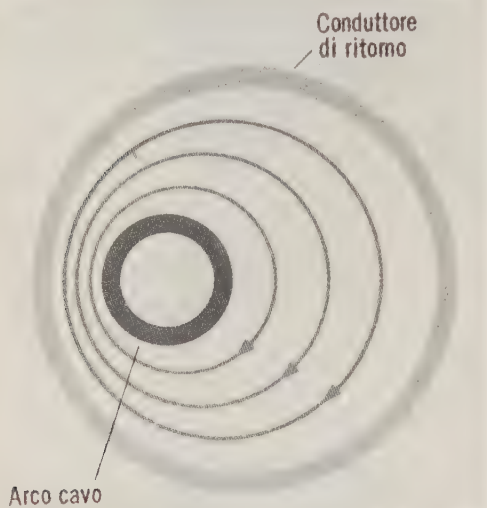


Fig. 24. — Eliminazione degli spostamenti laterali in massa della scarica.

Se questa, senza incurvarsi od incurvandosi secondo un raggio troppo grande per poter applicare il ragionamento della fig. 22, si sposta lateralmente, poichè le linee di forza magnetiche non possono oltrepassare il conduttore di ritorno concentrico con la scarica, appare uno squilibrio nella ripartizione della pressione magnetica esterna, che tende a riassorbire lo spostamento,

in linea di principio, essere confinata in modo completo.

È stato usato anche un altro dispositivo, simile come principio, ma diverso come realizzazione (fig. 26). Il circuito magnetico è eliminato, ed il primario del trasformatore sostituito da una vernice conduttrice (inchiestro di China ad esempio) disposta all'esterno del tubo torico, lasciando un intervallo detto di « alimentazione ».

Ai suoi morsetti è connessa una sorgente identica a quella descritta precedentemente per il tubo rettilineo. Tale disposizione riduce considerevolmente l'induttanza e permette uno stabilirsi più rapido della corrente.

In linea di massima vengono applicati gli stessi mezzi di stabilizzazione; in particolare, si può porre un avvolgimento tutt'attorno al toro, per creare un campo ma-

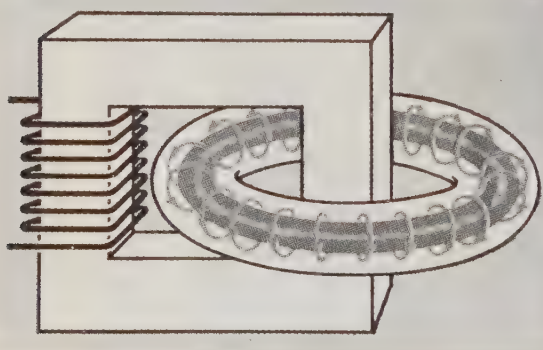


Fig. 25. — Principio generale dell'arco torico.

Si può far sprizzare un arco torico (senza elettrodi) in un mezzo leggermente preionizzato tramite il dispositivo schematizzato qui sopra, costituito da un trasformatore: il cui primario sia un avvolgimento solito, ed il secondario una scarica elettrica chiusa su se stessa.

gnetico le cui linee di forza siano parallele alle linee della corrente.

Questo dispositivo, conosciuto in Inghilterra sotto il nome di « dispositivo Zeta », sembrò per un momento molto prossimo alla soluzione; si credette di aver raggiunto temperature di 5 milioni di gradi, con durate di stabilità dell'ordine di 20 ms. Tuttavia, si dubita attualmente che questo dispositivo possa mai raggiungere la « criticità termonucleare », cioè il punto in cui la scarica produce più energia di quanta ne consumi.

Di fatto, la recente conferenza di Ginevra ha messo in evidenza che le scariche di questo tipo consumano, per ragioni misteriose, un'energia considerevole, che impedisce d'accrescere la corrente (e la temperatura del plasma) al di là d'un certo limite. Per quanto sia prematuro ricavare conclusioni definitive, non sembra sussistere gran cosa dell'euforia che aveva invaso i centri scientifici britannici, circa due anni fa, in seguito alla pubblicazione dei primi risultati sperimentali.

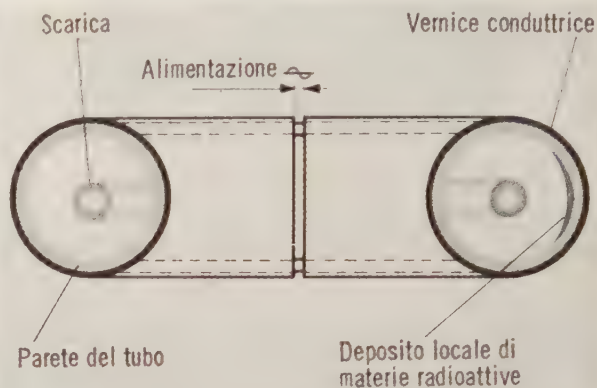


Fig. 26. — Dispositivo di Cousins e Ware, per l'eccitazione di archi torici entro dispositivi equivalenti, come principio, a quello schematizzato nella fig. 25, ma diversi dal punto di vista della realizzazione perchè manca il circuito ferromagnetico, ciò che ha per effetto di ridurre considerevolmente l'induttanza.

Il primario del trasformatore è formato da una vernice conduttrice applicata all'esterno del tubo ed interrotta da un « intervallo d'alimentazione » collegato ad una sorgente di tensione alternata; il secondario, come nella fig. 25, è la scarica stessa. Nell'esempio qui schematizzato la preionizzazione è prodotta dalla presenza d'un leggero strato radioattivo.

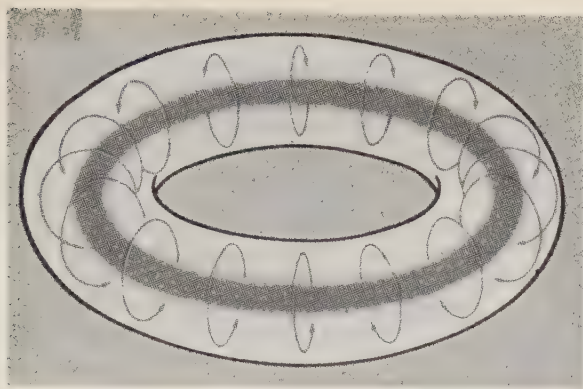
9. - LO STELLARATOR.

Le ricerche sullo Stellarator, altro passo importante verso il reattore termonucleare, sono state tenute per lungo tempo segrete; la loro divulgazione ha preceduto di poco la seconda conferenza di Ginevra del 1958.

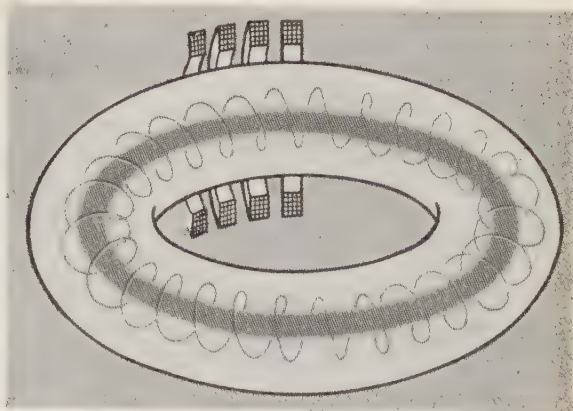
Per comprendere il principio dello Stellarator bisogna tornare alla figura che rappresenta il confinamento torico (fig. 12); su di essa abbiamo appositamente disegnato la regione occupata nello spazio dalle linee di forza magnetiche, senza preoccuparci della loro direzione.

L'arco torico rappresenta una forma di confinamento torico nella quale le linee di forza sono circonferenze; sono i meridiani del toro (fig. 27); nell'arco stabilizzato, la sovrapposizione d'un campo magnetico longitudinale dà alle linee di forza una forma leggermente ad elica (fig. 28), però esse restano sostanzialmente quasi meridiane. Ora, esiste, in linea di principio, un altro tipo di confinamento, quello con linee di forza magnetiche *parallele* al toro. Un tale confinamento è realizzabile in pratica se il toro è completamente circondato da bobine analoghe alle bobine ausiliarie dell'arco stabilizzato detto sopra (v. fig. b).

La realizzazione d'uno stellarator torico urta tuttavia subito contro una grossa difficoltà. È facile infatti dimostrare che nel plasma confinato le cariche positive e negative tenderanno a separarsi senza speranza di riunirsi.



a)



b)

Fig. 27. — Posizioni relative delle linee di corrente e delle linee di forza magnetiche nell'arco torico.

La fig. 27 a) mostra un arco completamente autoconfinato, la fig. 27 b) un arco stabilizzato da un campo magnetico esterno. Le linee di forza sono meridiani nel primo caso e quasi meridiani nel secondo.

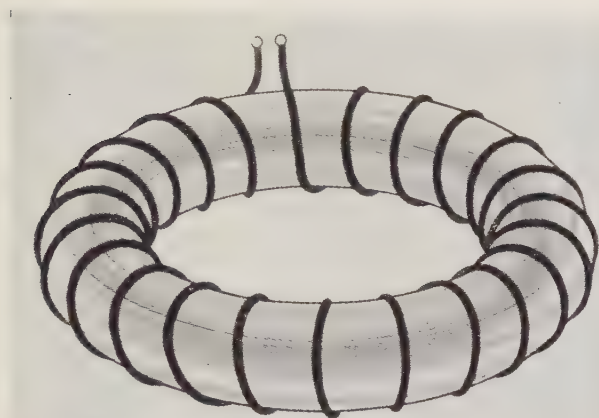
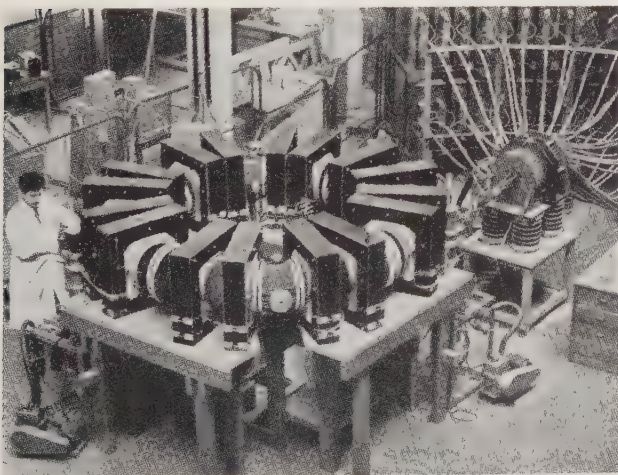


Fig. 28. — Posizioni relative della corrente e delle linee di forza magnetiche nello stellarator.

Le posizioni relative sono esattamente inverse di quelle descritte nella fig. 27 a). In molti casi s'introduce una certa elicoidalità, però con un passo molto maggiore di quello della fig. 27 b).

Infatti, se è ben noto che la traiettoria d'una particella elettrizzata in un campo magnetico omogeneo si proietta, su un piano perpendicolare alle linee di forza, secondo



Veduta dell'apparecchio TA.2000 che permette lo studio delle scariche anulari stabilizzate. Questa installazione è attualmente in servizio al Centro di Studi nucleari di Fontenay-aux-Roses.

una circonferenza (fig. 29 a), però, qualsiasi eterogeneità di questo campo importa una deriva parallelamente alle superficie equipotenziali del campo (fig. 29 b). Questa deriva può interpretarsi come il risultato d'una serie di mezzi cerchi il cui raggio è alternativamente superiore ed inferiore ad un certo valore medio (fig. 29 c). Si vede inoltre facilmente che le cariche positive si dirigono in un senso, mentre le cariche negative vanno all'opposto. La eterogeneità del campo è dovuta, nello Stellarator, alla forma curva degli avvolgimenti.

Poichè, escludendo questo movimento, quello possibile per le particelle è solo uno spostamento elicoidale attorno alle linee di forza, e perchè, in uno Stellarator torico, le linee di forza sono dei paralleli, in modo che una data linea resta immersa per tutta la sua lunghezza, o in un mezzo con eccesso positivo o in uno con eccesso negativo, nessuna ricombinazione diventa possibile. Perchè questa ricombinazione possa aver luogo, bisogna, con un artificio qualunque, imporre una *torsione* alle linee di forza; esse non sono più esattamente circolari, ma più o meno avvolte ad elica.

Due metodi nettamente distinti sono stati proposti per realizzare una simile torsione. Il primo consiste nel torcere *geometricamente* il toro, per esempio dandogli la forma ad otto; il secondo consiste nel realizzare unicamente una torsione *magnetica*, sovrapponendo, al campo orientato secondo i paralleli del toro, un campo meridian analogo a quello dell'arco torico. Un tale campo può essere creato per mezzo di bobine poste di sbieco rispetto al tubo. In questo caso, per ragioni pratiche, si dà inoltre al tubo la forma, non di un toro perfetto, ma piuttosto d'un « campo di corse ». Le figure 30 e 31 illustrano queste diverse possibilità.

Finora, abbiamo descritto unicamente un mezzo di confinamento, ma non abbiamo affatto precisato come può effettuarsi il riscaldamento del plasma confinato fino alla temperatura critica termonucleare. Due mezzi sono stati applicati a tutt'oggi: il riscaldamento per effetto Joule ed il « pompaggio magnetico ».

Nel riscaldamento per effetto Joule, si fa passare, parallelamente alle linee di forza magnetiche, una certa corrente indotta da un trasformatore, secondo un principio identico a quello dell'arco torico (fig. 32). Importa tuttavia osservare che questa corrente è molto inferiore a quella d'un arco autoconfinato; d'altra parte, deve essere così se non si vuol dar luogo alle stesse forme d'instabilità.

Le possibilità di riscaldamento con questo metodo sono tuttavia limitate perchè la conducibilità d'un plasma ad un milione di gradi tende a diventare paragonabile a quella d'un metallo in stato di sovracconduttività; il riscaldamento diventa trascurabile. Per andare oltre, si

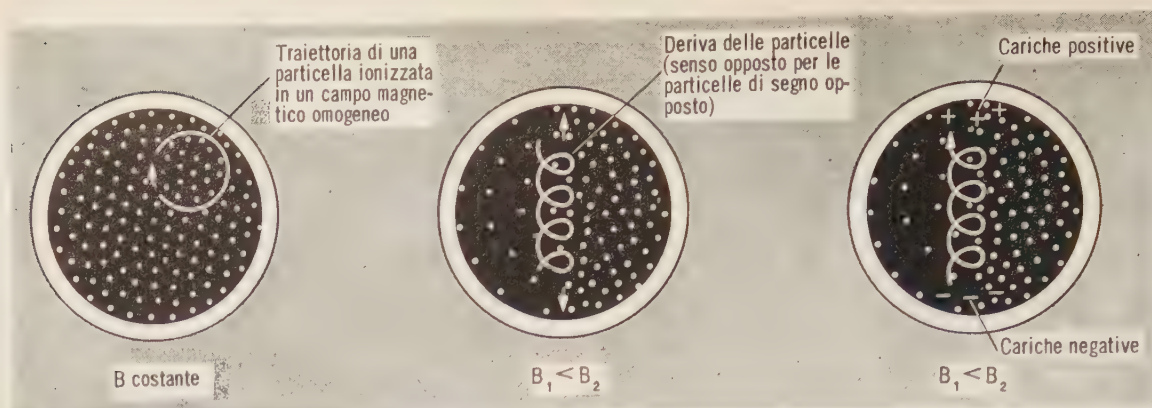


Fig. 29. — Instabilità dello stellarator torico.

Se il campo magnetico fosse lo stesso in tutta la sezione meridiana del toro, le particelle descriverebbero circonferenze ed il confinamento sarebbe stabile (fig. 29 a). Disgraziatamente, l'incurvamento stesso delle linee di forza importa per esse una certa eterogeneità, le particelle positive allora si spo-

stano in un senso e le negative nell'altro, perpendicolarmente al gradiente del campo (fig. 29 b). Questo spostamento nasce dal fatto che il raggio di curvatura è minore dove il campo è più intenso rispetto ai punti dove lo è meno, ciò che porta a sostituire la circonferenza della fig. 29 a) con una specie di cicloide (fig. 29 c)

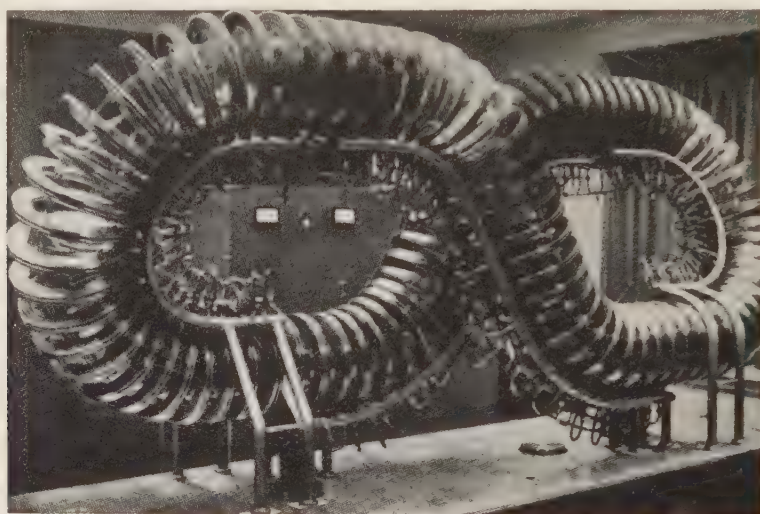


Fig. 30. — Stellarator ad otto.

Un primo modo d'eliminare questa instabilità consiste nel torcere lo stellarator secondo un otto. In tal modo, le linee di forza magnetiche non sono chiuse su se stesse; esse s'immergono alternativamente in un eccesso di cariche positive e negative, tali cariche tendono a ricombinarsi in ragione della loro separazione per effetto della circolazione ad elica lungo le linee di forza.

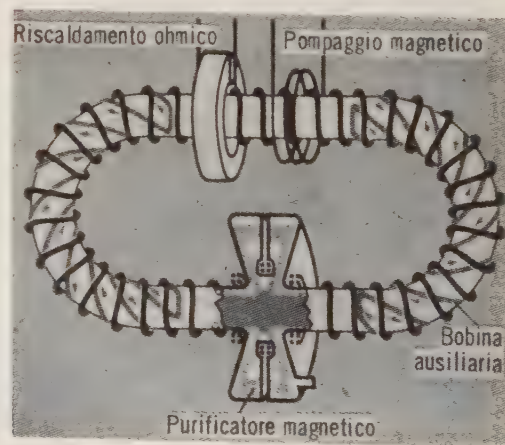
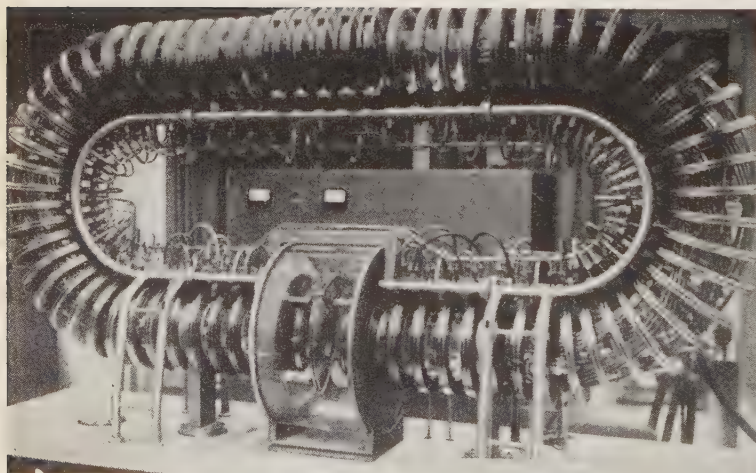


Fig. 31. — Stellarator «campo di corsa».

Qui la torsione delle linee di forza magnetiche è imposta dalle bobine ausiliarie visibili nelle parti curve. Osservare nei tronchi rettilinei, il riscaldamento ohmico e il pompaggio magnetico (a sinistra), nonché il purificatore magnetico (a destra).

può utilizzare il pompaggio magnetico, che consiste nel rinforzare e nell'attenuare successivamente il campo magnetico in una certa regione; se la cadenza di questo movimento è in sincronismo con una frequenza propria del plasma, sia essa la frequenza « ciclotronica » degli ioni

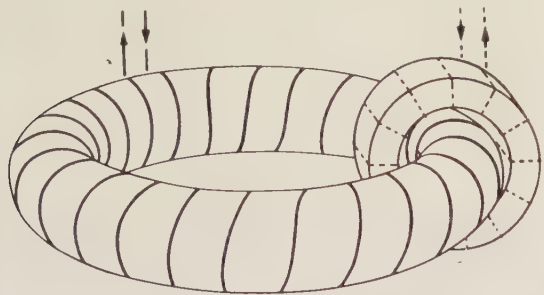


Fig. 32. — Dispositivo di riscaldamento ohmico per stellarator. Il principio è identico a quello della fig. 25. La scarica è circondata da un circuito magnetico, attorno al quale si dispone un avvolgimento primario. Tuttavia, contrariamente a quanto succede nella fig. 25, la corrente è agitata debolmente perché l'autoconfinamento resti trascurabile rispetto al confinamento imposto dall'avvolgimento principale.

(frequenza con la quale graviterebbero in un ciclotrone di pari campo magnetico), oppure l'inversa del tempo di transizione degli ioni nella zona interessata dalle pulsazioni, il calcolo mostra che si può trasmettere energia al plasma.

Come l'arco torico, lo stellarator ha fatto nascere dapprima grandi speranze; temperature nella gamma di qualche milione di gradi sono state raggiunte; poi si manifestarono scarti sempre più grandi ed evidenti fra la teoria

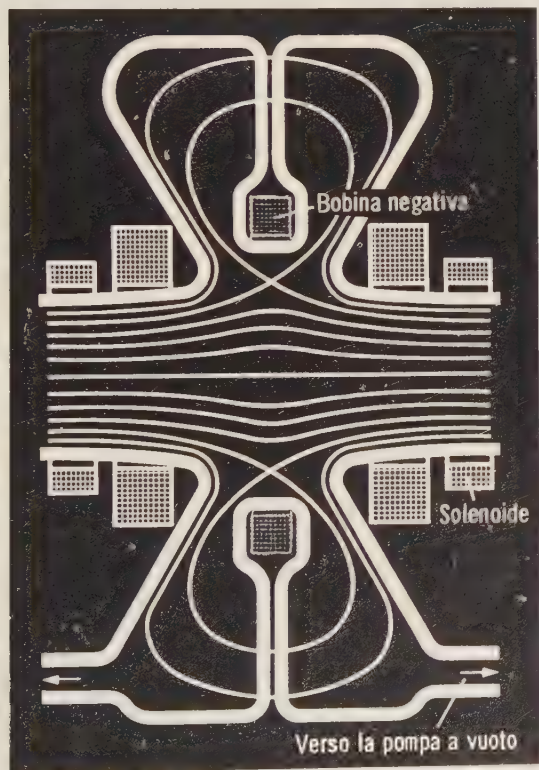


Fig. 33. — Dispositivo magnetico di purificazione.

Un grave problema che si pone a proposito dei dispositivi termonucleari è il mantenimento d'una grande purezza nel gas, malgrado i gas espulsi dalla parete. Nello stellarator si fa uso d'una bobina magnetica che genera un campo inverso al campo principale: onde si ottiene la configurazione indicata, in virtù di essa, gli ioni più pesanti di quelli del deuterio sono lanciati contro una parete dove si neutralizzano. In seguito essi vengono eliminati per mezzo d'una pompa ordinaria. Gli ioni di deuterio, che descrivono le traiettorie meno larghe, restano all'interno della zona confinata dal campo principale.

e la pratica, e ci si è resi conto che l'energia della scarica, a partire da un certo istante, non è utilizzata per scaldare il plasma, ma dissipata secondo meccanismi tuttora sconosciuti. Il successo finale dello stellarator dipende dal modo come saranno limitate tali perdite d'energia, così da rimettere d'accordo le temperature calcolate con quelle misurate.

Non lasciamo questo campo senza ricordare un sistema di raffinazione magnetica (fig. 33) che, in combinazione coi metodi abituali di svuotamento, permette di raggiungere e mantenere pressioni di 10^{-10} mm di mercurio.

10. - MACCHINE A SPECCHI MAGNETICI.

Qualche mese prima della conferenza di Ginevra, sono stati parimenti divulgati i diversi tipi di « macchine a

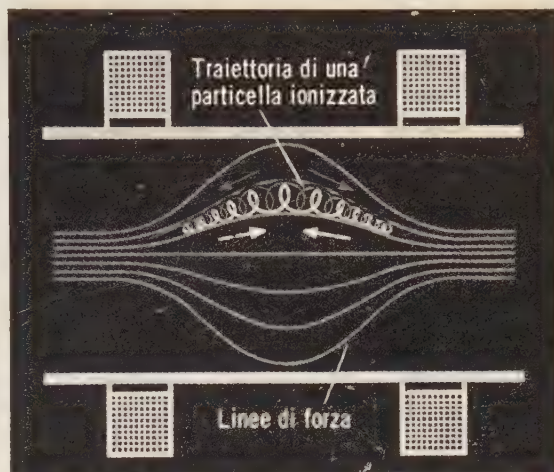


Fig. 34. — Principio della macchina a specchi magnetici.

Se si realizza, per mezzo di due bobine, un campo magnetico che risponda allo schema qui riportato, le particelle descriventi normalmente eliche lungo linee di forza, invertono generalmente cammino appena arrivano nella zona a campo intenso, come farebbe uno specchio. Il confinamento non è assolutamente completo; così una particella che descriva esattamente la linea di forza assiale, senza componente elicoidale di velocità, uscirebbe dalla zona confinata. Il dispositivo presenta però vantaggi che sembrano compensare largamente questo inconveniente.

specchi magnetici » che, probabilmente, a tutt'oggi sono quelle che danno le maggiori probabilità di raggiungere le temperature critiche termonucleari, entro qualche anno.

Come principio, la macchina a specchi magnetici mira a realizzare il confinamento in un volume a forma di una palla da rugby, per mezzo d'un campo magnetico longitudinale rinforzato alle due estremità. Tale confinamento sembra, a prima vista, meno perfetto del confinamento torico; infatti, una particella che si muovesse esattamente secondo la linea di forza assiale non sarebbe per nulla impedita dall'uscire dal volume confinato. Tuttavia, appena ci si distanzia dall'asse ed esiste una certa obliquità, la traiettoria ha molte più probabilità di ripiegarsi su se stessa. Esempi di tali traiettorie sono indicate sulla fig. 34 che illustra inoltre il principio dell'apparecchio.

L'esistenza di « colli » alle due estremità della « bottiglia magnetica » inoltre è soltanto un inconveniente; si può capovolgere la situazione e farne un vantaggio, perché un tale collo può essere attraversato nei due sensi; esso può quindi servire sia per iniettare qualche cosa che per farne uscire altre. Inoltre si può collegare il fascio uscente ad un apparecchio di misura, che darà indicazioni preziose sui parametri del plasma interno.

La macchina a specchi magnetici esiste in parecchie varianti, fra le quali ne distinguiamo tre principali:

a) una macchina a campo magnetico costante, nella quale le particelle sono iniettate lateralmente per mezzo d'un acceleratore fornito d'una sorgente di ioni particolarmente intensa. Normalmente queste particelle do-

vrebbero uscire nuovamente dal campo magnetico, l'artificio sta però nel fare in modo ch'esse subiscano una modifica durante il passaggio nel volume confinato. Una tale modifica è realizzabile se si accelerano ioni molecolari del deuterio (due deutoni con un solo elettrone) i

quali, per urto, vengono dissociati o in un deutone ed un atomo neutro di deuterio, o in due deutoni ed un elettrone. Gli atomi neutri sfuggono immediatamente al confinamento, mentre i deutoni restano bloccati, come illustra la fig. 35. Quanto alla rottura, essa è il risultato

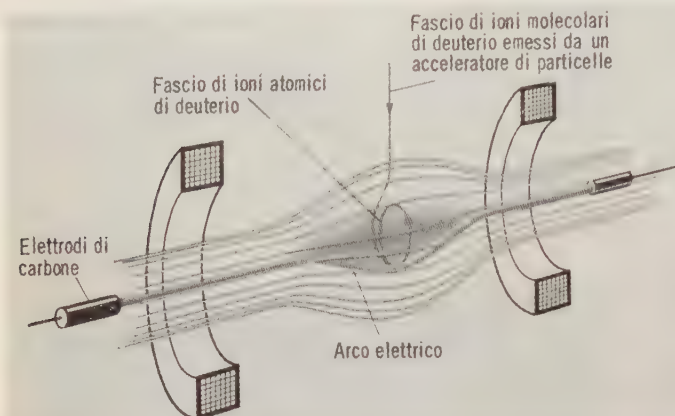


Fig. 35. — Macchina a specchi magnetici del Laboratorio di Oak Ridge.

In questa macchina a specchi del tipo normale, si inietta lateralmente un fascio intenso di ioni molecolari di deuterio. Questi ioni dovrebbero normalmente descrivere traiettorie che li porterebbero fuori dalla macchina, qualunque sia l'angolo d'incidenza. Ma se essi entrano in collisione con le particelle costituite d'un arco a carboni (che segue fedelmente una linea di forza magnetica), gli ioni si scindono dando ioni atomici di deuterio, descriventi traiettorie di raggio due volte minore, interamente confinate all'interno della macchina.

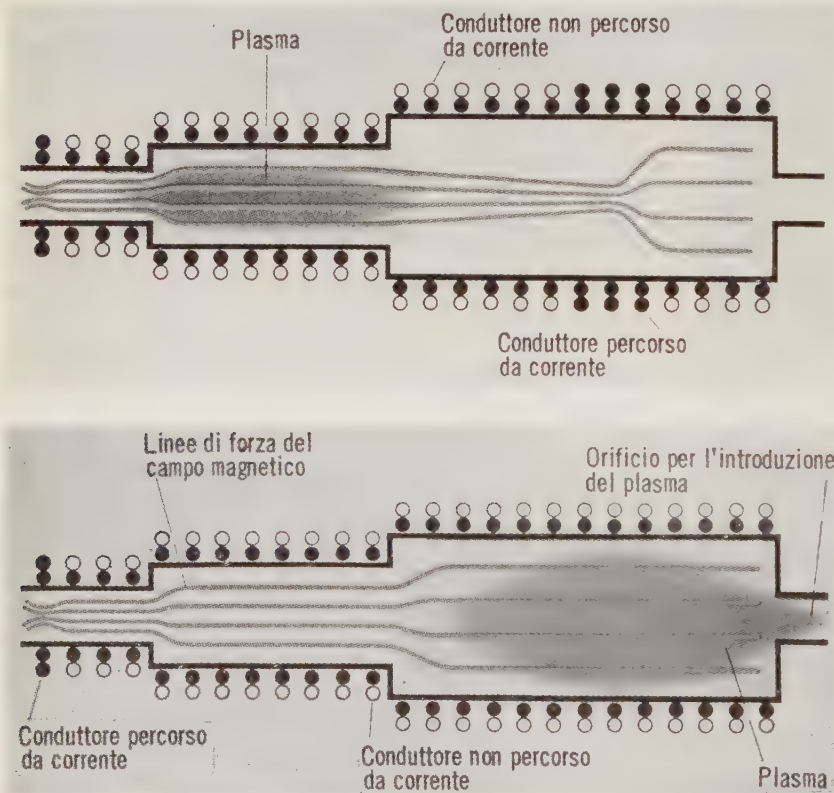
Fig. 36. — Realizzazione d'un plasma ruotante.

In una macchina a specchi magnetici, il cui asse sia perpendicolare al piano della figura, si inietta secondo tale asse un plasma di scarica elettrica. Le particelle si diffondono poco a poco nel campo magnetico degli specchi. Sotto l'azione d'una differenza di potenziale radiale fra il plasma iniettato ed un elettrodo cilindrico coassiale esterno, si imprime al plasma un movimento di rotazione attorno all'asse (in realtà, le particelle individuali descrivono traiettorie epicycloidali, secondo lo schizzo disegnato). La velocità media è uguale al rapporto del campo elettrico e del campo magnetico. Si pensa d'ottenere temperature molto elevate lasciando che l'energia cinetica corrispondente si dissipi per urti, dopo aver soppresso la differenza di potenziale



d'una collisione, sia contro gli atomi neutri residui, sia contro le particelle d'una scarica elettrica ausiliaria (arco fra carboni) che attraversi il volume confinato seguendo una linea di forza privilegiata. Con tale metodo, i deutoni acquistano direttamente velocità nella gamma termonucleare; la difficoltà sta però nell'accumularne abbastanza nel volume confinato perchè entrino in reazione fra di loro. Tale possibilità non è però molto lontana;

b) una macchina a campo magnetico costante, nella quale si inietta longitudinalmente, attraverso i colli, un plasma preionizzato che, dapprima si dispone secondo l'asse della regione confinata, indi si diffonde lentamente verso l'esterno, dove si pone un elettrodo cilindrico di raccolta. Se un campo elettrico viene eccitato fra il plasma e l'elettrodo (per semplice applicazione d'una differenza di potenziale), il calcolo dimostra che il plasma si mette a girare attorno al suo asse con velocità lineare E/B (dove E è il campo elettrico e B il campo magnetico di confinamento).

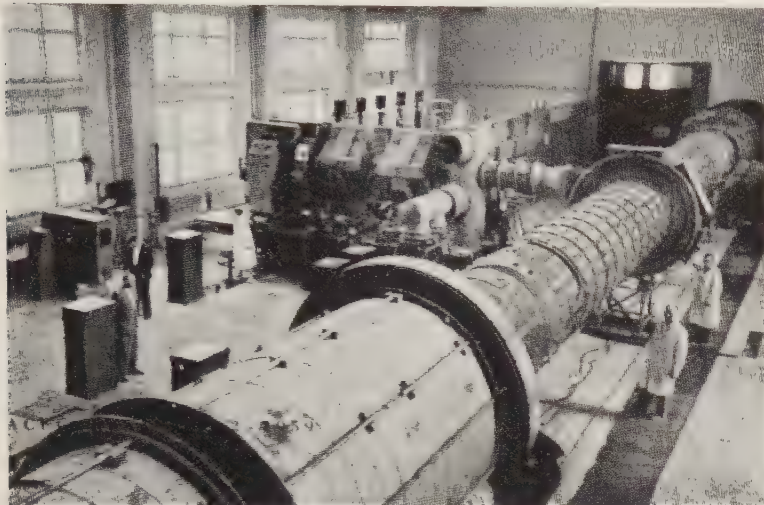


Figg. 37 e 38. — Compressione magnetica per gradi.

Si inietta un plasma in un tubo di forma speciale munito di avvolgimenti elettrici. Con una scelta conveniente degli avvolgimenti effettivamente percorsi da correnti, è possibile realizzare una compressione magnetica adiabatica nel primo tronco, e poi trasferire il plasma nel secondo, dove si ottiene un'ulteriore compressione, e così di seguito. L'energia consumata negli avvolgimenti è evidentemente molto minore che per realizzare direttamente la compressione nel primo tronco.

Tale velocità di rotazione è abbastanza elevata per poter sperare, semplicemente sopprimendo il campo elettrico, di raggiungere la temperatura critica termonucleare per conversione semplice dell'energia cinetica in calore. Il principio è illustrato sulla fig. 36;

c) una macchina a campo magnetico rapidamente variabile nel tempo, che realizza la *compressione magnetica adiabatica del plasma*, d'accordo con le idee espresse in precedenza. È stato anche possibile realizzare una tale compressione in parecchi stadi, con trasferimento del plasma, parzialmente compresso per ripulsione magnetica, da uno stadio all'altro. Le figure 37 e 38 illustrano questi principi.



La macchina a specchi magnetici OGRA, utilizzata nell'URSS per le ricerche sulla fusione nucleare.

Dopo la conferenza di Ginevra, si considerava generalmente che questo tipo di macchina rappresentasse la possibilità più seria di realizzare a breve scadenza (forse entro sei mesi) vere reazioni termonucleari (non auto-mantenute) in scala di laboratorio. In ogni caso sono stati osservati neutroni ed essi soddisfano a tutti i requisiti richiesti per ammettere per essi una vera natura termonucleare.

II. - ALTRI DISPOSITIVI SPERIMENTALI.

Esistono altri dispositivi sperimentali meno ben cono-

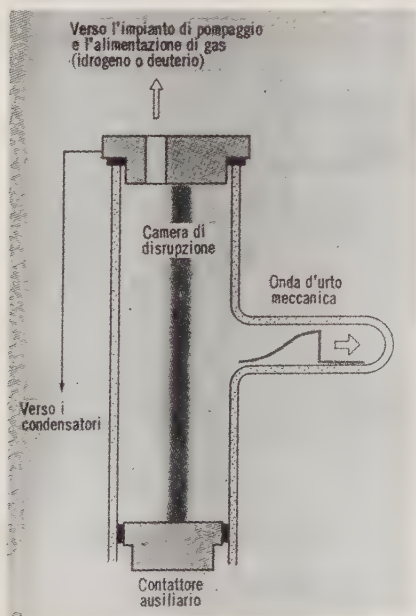


Fig. 39. — Realizzazione d'un'onda d'urto meccanica.

Se un tubo a scarica elettrica impulsiva è munito d'una propaggine laterale, vi si osserverà un'onda meccanica contemporanea al passaggio della corrente.

sciuti, e probabilmente più lontani dall'obiettivo finale, dei precedenti.

Un certo numero di teorici e di sperimentatori hanno esaminato le possibilità offerte dalle *onde d'urto generate elettricamente*. Se si realizza un tubo a scarica simile a quello della fig. 16, ma fornito d'una propaggine laterale, com'è indicato in fig. 39, e si provoca una scarica disruptiva secondo la tecnica precedente, un'onda d'urto puramente meccanica si propaga nella propaggine laterale e sviluppa una temperatura elevata, dell'ordine di 60 000 °K. Questo fenomeno era conosciuto relativamente già da molto tempo.

Ora, ci si è accorti che la temperatura richiesta può

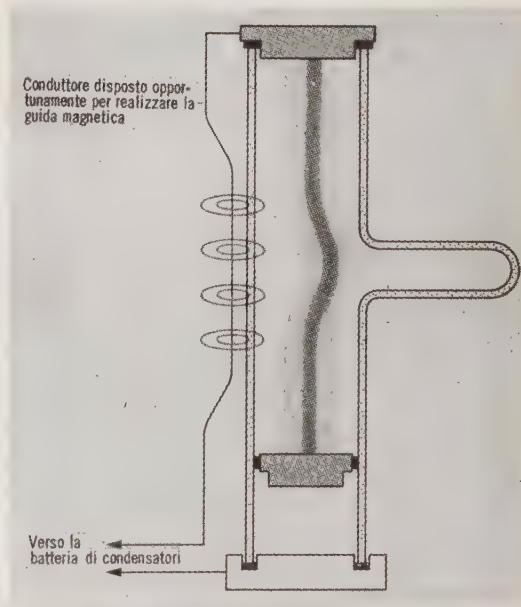


Fig. 40. — Onda d'urto guidata magneticamente.

Se nel dispositivo della fig. 39, il conduttore di ritorno è posto parallelamente al tubo, quanto più vicino ad esso possibile, e dalla parte opposta della propaggine laterale, l'onda d'urto diventa molto più violenta: il suo arresto conduce a temperature dell'ordine dei milioni di gradi. La differenza può essere interpretata come un effetto di guida esercitato dal campo magnetico del conduttore di ritorno, combinato con l'effetto magnetico proprio della scarica.

essere considerevolmente aumentata, fino a raggiungere il livello di un milione di gradi, se l'onda d'urto non è più prodotta semplicemente da un effetto meccanico, ma ottenuta per mezzo d'una *guida magnetica*, in virtù di una disposizione del conduttore di ritorno lungo tutto il tubo a scarica, secondo lo schema della fig. 40. Si può

anche tentare di proiettare l'una contro l'altra due onde d'urto simili, emesse da due tubi paralleli sincronizzati. Infine, si può combinare questo principio con quello della macchina a specchi per ottenere il confinamento del plasma caldo così ottenuto (fig. 41).

Molto diversi sono gli studi relativi ai *plasmoidi*, sviluppati specialmente da Bostick. Un plasmoido è un elemento di plasma (di forma torica), autostabilizzato, cioè autoconfinato sotto l'azione del campo magnetico

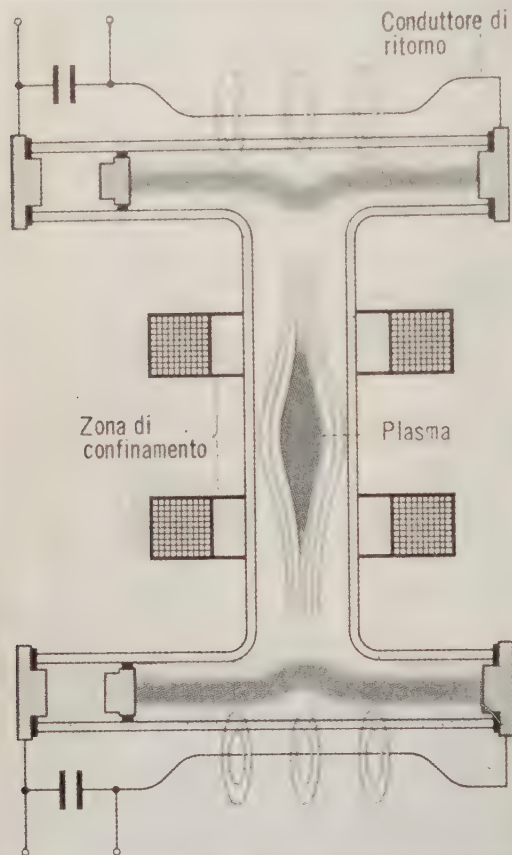


Fig. 41. — Combinazione di due tubi ad onde d'urto ed una macchina a specchi.

Se due onde simili sono lanciate in perfetto sincronismo nello stesso tubo, una contro l'altra, la collisione determina temperature ancora più elevate. Si può fare in modo di confinare immediatamente il plasma ad alta temperatura così ottenuto, facendo avvenire la collisione all'interno d'una macchina a specchi magnetici, del tipo descritto in precedenza.

delle sue stesse particelle e del campo magnetico generato dalle correnti risultanti dal loro movimento. La fig. 42 rappresenta la struttura probabile d'un tipo molto particolare di plasmoido.

I plasmoidi sono emessi dai « proiettori di plasma » costituiti da due elettrodi metallici contenenti gas occlusi, molto avvicinati, fra i quali si fa sprizzare un « arco nel vuoto », cioè di fatto una scarica elettrica nella quale il solo gas portatore di cariche proviene dai gas occlusi o dalla volatilizzazione degli elettrodi. Quando si faccia passare un impulso di corrente da 1000 a 10000 A in una frazione di μs , si assiste ad un fenomeno schematizzato dalle figure 43 a 45. La velocità di spostamento del plasmoido si valuta a centinaia di km/s; se l'energia cinetica corrispondente potesse essere trasformata in calore, sarebbe forse possibile raggiungere la soglia delle reazioni termonucleari. Vi sono inoltre probabilità che il mezzo resti autoconfinato, durante il tempo necessario all'esaurimento del plasma per fusione nucleare.

Ciò sarebbe, in linea di principio, possibile lanciando l'uno contro l'altro due plasmoidi emessi in sincronismo;

ma i plasmoidi non « fondono » bene; essi si comportano piuttosto come due entità distinte, che rimbalzano l'una sull'altra. Un'altra prova della loro autonomia è il loro comportamento in un campo magnetico; le particelle positive dovrebbero essere deviate in senso opposto a quelle



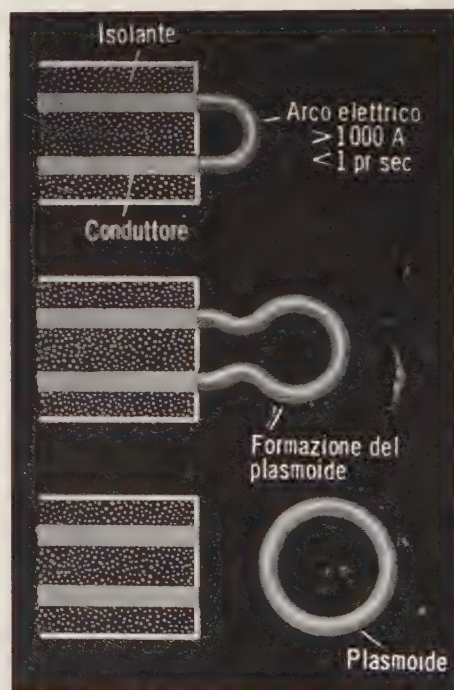
Fig. 42. — Struttura probabile d'un tipo di plasmoido.

Si tratta d'una configurazione totalmente ionizzata; le cariche positive e negative sono separate e descrivono traiettorie che si avvolgono attorno al toro. Abbiamo qui un esempio d'una configurazione stabile (almeno per un certo tempo) sotto l'azione dei propri campi elettrico e magnetico.

negative; invece il plasmoido (statisticamente neutro) resta tale e prosegue nella sua strada, in linea retta; tutt'al più riduce un po' la sua velocità.

Ricordiamo, infine, che il gas è largamente contaminato dagli ioni metallici emessi dagli elettrodi al momento della scarica, ciò che è poco favorevole, come abbiamo detto, allo sviluppo d'una reazione termonucleare.

La fusione catalizzata per mezzo di mesoni è stata scoperta incidentalmente negli USA dal gruppo d'Alvarez. La sua eventuale messa a punto permetterebbe la rea-



Figg. 43, 44, 45. — Emissione d'un « plasmoido » per mezzo d'un « proiettore di plasma ».

Fra due elettrodi si fa sprizzare un « arco nel vuoto » (cioè, un arco nei vapori metallici sprizza fra gli elettrodi) fig. 43. Sotto l'azione del proprio campo magnetico questo arco si deforma (fig. 44) e si richiude su se stesso (fig. 45) formando il plasmoido.

lizzazione delle reazioni di fusione a *freddo*, in circostanze che richiamano molto quelle della fissione.

Ricordiamo che si chiama « mesone » una particella di massa intermedia fra quella dell'elettrone e quella del neutrone. I mesoni sono stati scoperti nella radiazione cosmica, in seguito si trovò il mezzo di produrli artificialmente attraverso gli acceleratori. Il mesone, di cui si parla qui, è il mesone negativo, la cui massa è circa 200 volte quella dell'elettrone, mentre la carica è la stessa.

Questo mesone μ negativo possiede la proprietà di dar luogo alla formazione di *atomi mesici*: si tratta di associazioni fra un nucleo ed un mesone, per cui questo si mette a ruotare attorno al primo, come farebbe un elettrone. Ma, fatto saliente, si dimostra che il raggio dell'orbita è in ragione inversa della massa del satellite; l'atomo mesico è dunque molto più piccolo di quello che si potrebbe chiamare l'atomo elettronico, od atomo comune.

Più interessante ancora è la possibilità di formare molecole mesiche o ioni molecolari mesici, ciò che avviene quando parecchi atomi mesici reagiscono fra di loro o se un atomo mesico capta un atomo comune, con legami puramente chimici, però basati sulla presenza del mesone.

Consideriamo per esempio il deuterio liquido. Un nucleo di deuterio (circondato dal suo unico elettrone periferico, che si può anche trascurare perchè non interviene nei processi successivi) capta un mesone; passando in prossimità d'un altro nucleo di deuterio, può formare con esso un *ione molecolare mesico di deuterio*, costituito da due deutoni e da un mesone (più i due elettroni, che sono molto lontani e non intervengono). Il fatto essenziale è che questi due deutoni sono 200 volte più vicini l'uno all'altro che se fossero in un ione molecolare od in una molecola di deuterio normale. Questi due nuclei hanno quindi una certa probabilità di reagire nuclearmente fra di loro, formando (vedere tab. I) un tritone ed un protone, oppure un tralfio ed un neutrone. A questo punto, la violenza della reazione espelle il mesone,

che in linea di principio è in grado di ricominciare altrove lo stesso processo.

Se la vita del mesone fosse illimitata, come quella d'un elettrone comune, vi sarebbe la possibilità teorica, anche con un numero relativamente modesto di mesoni all'inizio, di far reagire a *freddo* una grande quantità di deuterio (vi sarebbe nondimeno bisogno di cercare una sostanza liquida, ricca di deutoni, ma a temperatura più elevata del deuterio liquido). Disgraziatamente, il mesone è effimero; la sua vita non supera mai 2 μ s, ciò che gli permette di realizzare al massimo due o tre fusioni. L'energia corrispondente è insufficiente per consentire la produzione di mesoni di mano in mano che spariscono, mentre i mesoni cosmici sono troppo poco abbondanti per dare una reattività apprezzabile al processo.

È necessario allora abbandonare ogni speranza? Forse no, infatti il fisico sovietico Alikhanian ha segnalato la esistenza d'un mesone a « vita lunga », se questa scoperta fosse confermata, la tecnica avrebbe una possibilità del tutto diversa a disposizione.

12. - RICERCHE TEORICHE.

A fianco dello sforzo sperimentale, di cui ci siamo occupati a grandi linee, conviene ricordare un lavoro teorico di ampiezza raramente raggiunta. Il plasma a temperatura altissima, totalmente ionizzato e confinato magneticamente, si presta in effetti relativamente bene all'analisi matematica; tale analisi deve combinare equazioni del tipo Maxwell-Lorentz per la parte elettrica del fenomeno, con equazioni di tipo idraulico per la parte meccanica, specialmente per le onde d'urto. Ciò porta ad un insieme abbastanza impressionante di equazioni simultanee, con egual numero d'incognite; però la complessità non è tale da scoraggiare un buon matematico. Bisogna introdurre, senza dubbio, certe ipotesi semplificanti, ma si arriva, poco a poco, ad un complesso molto coerente di risultati interessanti.

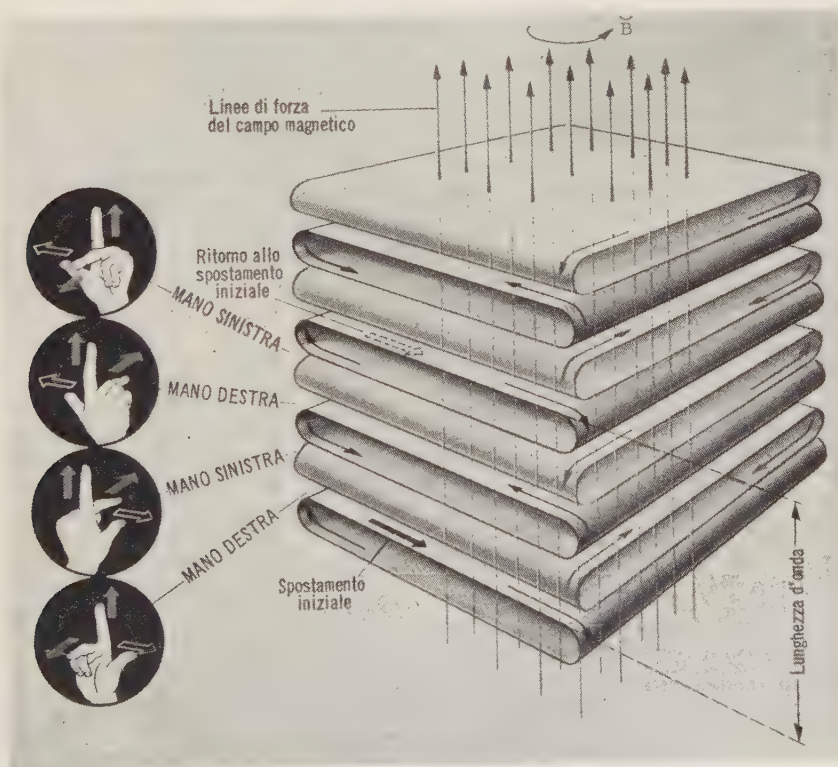


Fig. 46. — Principio delle onde idromagnetiche.

Questo principio si basa sulle leggi seguenti: continuità del deflusso fluido, continuità della corrente elettrica, regola delle tre dita della mano destra. L'onda si propaga di passo in passo, nella direzione del campo magnetico.

Il problema posto è il seguente: un certo plasma ad alta temperatura può restare stabile per periodi, se non infiniti, almeno dell'ordine del secondo, sia unicamente sotto l'azione dei suoi propri campi elettrico e magnetico, sia sotto l'azione combinata di questi stessi campi e di un campo magnetico esterno (un campo *elettrico esterno* è controindicato, perchè tenderebbe a separare i componenti positivi e negativi del plasma). Questo problema non è ancora stato risolto; è estremamente complesso, perchè costringe a provare successivamente *tutti* i tipi possibili d'instabilità, *senza trascurarne alcuno*; si conoscono configurazioni « assolutamente stabili » però sono idealizzate, ad esempio, hanno spessore nullo in certe direzioni (vedere ad esempio l'arco torico cavo nel « dispositivo Zeta »).

Questi studi teorici fanno grande uso del concetto delle onde « magnetoidrodinamiche » od « idromagnetiche », usate da Alfven in astrofisica. Queste onde, la cui esistenza è stata messa in risalto teoricamente, prima di essere provata sperimentalmente nel mercurio liquido e più tardi nel plasma delle scariche elettriche, sono caratteristiche dei mezzi fluidi conduttori dell'elettricità, sottoposti ad un campo magnetico.

Consideriamo (fig. 46) una fetta d'un tale fluido, che si sposti lateralmente al campo magnetico, con moto forzato. Questo movimento induce nel mezzo fluido un campo elettrico perpendicolare tanto al campo magnetico che alla direzione dello spostamento (principio della dinamo); ne risulta una corrente elettrica che si chiude attraverso le fette parallele vicine; in queste, la combinazione della corrente indotta e del campo magnetico fa sorgere una forza (principio del motore elettrico) perpendicolare tanto alla corrente che al campo magnetico; tali fette vicine avranno quindi la tendenza a muoversi esse pure. Lo spostamento del fluido che ne risulta, in ragione del principio della continuità del flusso, deve essere compensato da uno spostamento di materia in senso contrario nelle fette vicine, e partendo da questo spostamento si può ricominciare il ragionamento da principio. Ne risulta la propagazione di onde, dette idromagnetiche, perchè sono la combinazione di proprietà elettromagnetiche ed idrodinamiche, in una direzione parallela al campo magnetico.

La materia costitutiva delle stelle ed il « vuoto » interplanetario sono i mezzi propizi alla propagazione di tali onde; il plasma attivo d'un reattore termonucleare lo sarà ugualmente, e queste onde sono evidentemente suscettibili di svolgere una grande azione nei fenomeni di stabilità.

Un altro aspetto importante degli studi teorici riguarda il controllo del futuro reattore termonucleare. È ben evidente che le barre per assorbire i neutroni, usate generalmente nei reattori a fissione, non possono essere considerate qui; non ci manca tuttavia un intermediario estremamente elastico, l'intensità del campo magnetico di confinamento: un aumento comprime maggiormente il plasma, ne eleva la temperatura ed aumenta la velocità della reazione; una diminuzione fa dilatare il plasma, ne abbassa la temperatura e fa diminuire l'energia liberata, eventualmente al punto da rendere subcritica la reazione. Si osserva che il reattore termonucleare, malgrado la temperatura formidabile del focolare attivo, sarà probabilmente sicurissimo, molto di più d'un reattore a fissione. Infatti, ad ogni istante contiene solo la quantità di combustibile bastevole per qualche secondo, mentre il reattore a fissione contiene una « massa critica » equivalente al consumo di parecchi anni. Inoltre esso non dà calore residuo all'arresto, paragonabile a quello liberato dalla disintegrazione dei prodotti di fissione. In caso d'accidente, il gas ionizzato alla temperatura di parecchi milioni di gradi si raffredderebbe probabilmente prima di essere riuscito a fondere qualche cosa. Infine, anche se si produrrà una breccia, poichè i prodotti di fusione non

sono radioattivi (ad eccezione del trizio, la cui fusione è quasi istantanea) la liberazione di materia radioattiva sarà probabilmente molto modesta.

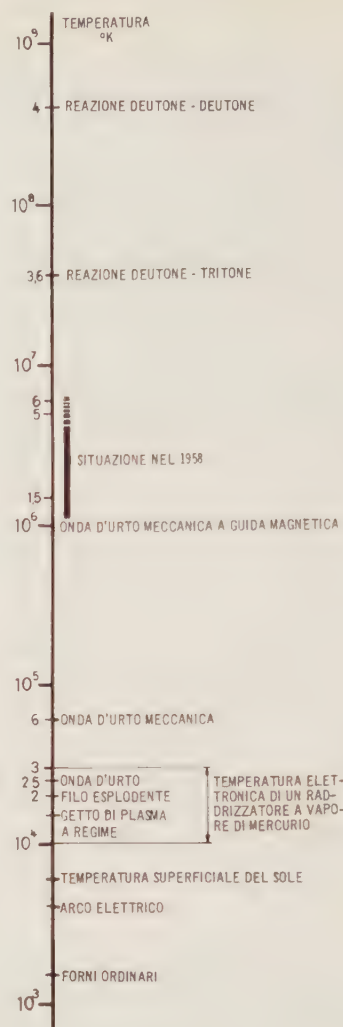


Fig. 47. — Scala logarithmica delle temperature.

A guisa di ricapitolazione generale, diamo qui una scala logarithmica delle temperature. In basso si troveranno le temperature approssimate dei dispositivi antichi; alla sommità figura lo scopo da raggiungere per primo, cioè l'autoaccensione della reazione deuterio-trizio, e quello a più lunga scadenza, cioè la reazione deuterio-deuterio. I dispositivi termonucleari sperimentati danno temperature dell'ordine da uno a sei milioni di gradi. Siamo dunque più che a metà strada, in scala logarithmica, fra le temperature « antiche » e quelle da raggiungere.

13. - CONCLUSIONI.

In quel che precede, siamo arrivati alla conclusione che la liberazione dell'energia nucleare di fusione è probabilmente possibile ai fini industriali. Il ritardo nella attuazione sarà forse dell'ordine dei decenni. Il combustibile principale è il deuterio e le riserve accessibili direttamente sono inesauribili, considerate in rapporto ai consumi d'energia elettrica attuali. All'inizio si consumerà inoltre litio in un rivestimento esterno, dove sarà trasformato in trizio, il cui scopo è di abbassare la temperatura critica d'autoadescamento.

Questa temperatura è formidabile rispetto ai livelli industriali, ma si ha l'impressione di poterla raggiungere con dispositivi di laboratorio. Il problema del confinamento magnetico sembra sulla buona strada di riuscire a tenere il focolare attivo distaccato da qualsiasi parete solida.

Il focolare attivo stesso sembra assomigliare a qualcosa come un'extrapolazione delle scariche ad arco, del tipo utilizzato nei raddrizzatori a vapore di mercurio;

il confinamento magnetico sarà eventualmente il risultato del campo magnetico proprio dell'arco e d'un campo magnetico esterno, oppure sarà generato intieramente da avvolgimenti esterni.

Una tale disposizione consente una facile messa a punto d'un dispositivo che permette di convertire direttamente l'energia nucleare di fusione in energia elettrica, secondo un ciclo che ricorda quello del motore Diesel, dove il campo magnetico variabile sostituisce lo stantuffo mobile: compressione magnetica, autoaccensione della reazione termonucleare, espansione con produzione di corrente elettrica nelle spire della bobina d'eccitazione del campo magnetico, scarico dei prodotti della fusione e rinnovo del combustibile. Durante la fase di espansione, una parte dell'energia è trattenuta per la compressione successiva (a meno chè non si realizzi l'equivalente d'un motore a più cilindri).

Il reattore termonucleare, non essendo più soggetto

alle esigenze di volume dei dispositivi a ciclo termico, sarà probabilmente molto compatto: centinaia di MW potranno essere generati per metro di tubo di scarica. Tuttavia, il pericolo d'esplosione è minimo, poichè la carica di combustibile presente in ogni istante è modesta. Tutto sembra indicare che il dispositivo, una volta messo a punto, sarà estremamente sicuro; esso non produrrà una pletora di prodotti radioattivi, difficili da eliminare e praticamente inutilizzabili; infine, il controllo e la regolazione sembrano facili.

Non bisogna però, malgrado tutto, nascondersi che i problemi ancora da risolvere sono importanti; anche se la soluzione in laboratorio può sembrare prossima, bisognerà superare grandi difficoltà tecnologiche per riuscire a produrre i primi kWh ad un prezzo ragionevole, così da poter gareggiare o quasi coi sistemi comuni di produzione dell'energia elettrica.

I. L.

DIMENSIONAMENTO E COLLAUDO DI TRASFORMATORI BI-TRIFASI

UGO RÖSCH (*)

Si dimostra che trasformatori bi-trifasi, dotati di un'ossatura magnetica trifase, se non si ricorre ad opportuni accorgimenti costruttivi, non possono, in generale, garantire condizioni perfette di esercizio come si verifica per trasformatori con lo stesso numero di fasi da entrambi i lati, in quanto anche con un carico assolutamente simmetrico sul lato bifase, le cadute di tensione sono differenti per ogni fase. Come conseguenza di ciò, il neutro degli avvolgimenti del lato trifase di alimentazione, se connessi a stella, non conserva il potenziale nullo come il centro stella delle tensioni di fase della linea, ma assume una tensione verso massa della frequenza fondamentale, la quale squilibra le tensioni che si stabiliscono ai capi di ciascuna fase degli avvolgimenti; se invece gli avvolgimenti del lato trifase sono connessi a triangolo, si manifesta nell'interno del triangolo una corrente supplementare di circolazione, la quale squilibra il sistema delle correnti di fase, aumenta le perdite e quindi abbassa il rendimento.

Questo stato di cose rende molto difficile stabilire modalità di collaudo con prove di facile esecuzione come per trasformatori trifasi da entrambi i lati. Infatti le perdite negli avvolgimenti, misurate in corto circuito, in genere, non corrispondono a quelle relative ad un esercizio con carico simmetrico, in quanto neanche le correnti assorbite sul lato trifase, nel caso di corto circuito bifase, risultano simmetriche. Inoltre, anche se è possibile definire un'impedenza di corto circuito per fase, questa è diversa da fase a fase. Essa poi in sede di collaudo può essere misurata solo se, con collegamento a stella degli avvolgimenti del lato trifase, il neutro di questi è accessibile, in modo da misurare direttamente le tensioni ai capi di ogni fase, o, con collegamento a triangolo, l'inizio e la fine di ogni fase viene condotto ad un passante separato, in modo da poter misurare ogni corrente di fase nell'interno del triangolo.

Tutti questi inconvenienti e difficoltà, insiti nella natura di questo tipo di trasformatori, possono essere eliminati solo con l'osservanza di ben determinati criteri di dimensionamento, che vengono discussi, a mo' d'esempio, per un particolare tipo di trasformatori.

PREMESSA.

Sebbene il sistema bifase di tensioni, tanto per linee di trasmissione quanto per le reti di distribuzione, tranne qualche rara eccezione di impianti ormai tecnicamente sorpassati, non abbia più alcuna importanza pratica, esso trova ancora oggi qualche utile applicazione industriale nell'esercizio di alcuni tipi di forni elettrici, quale il forno Girod, il forno Snyder, ecc.

Sorge così la necessità della trasformazione del sistema trifase delle tensioni della linea di alimentazione nel sistema bifase delle tensioni dal lato di utilizzazione.

In genere ci si avvale, per tali scopi, di trasformatori statici, i quali, rispetto alle macchine rotanti, presentano il vantaggio di un costo e di un ingombro minore, di un rendimento più elevato e di modeste cure di manutenzione.

La soluzione più nota è quella che adotta due trasformatori monofasi aventi diversi rapporti di trasformazione, connessi tra loro secondo lo schema di Scott. Si conosce però anche tutta una serie di trasformatori che utilizzano un'unica ossatura magnetica trifase, con un normale avvolgimento trifase connesso, a secondo dell'opportunità o della necessità, a stella oppure a triangolo. Le due tensioni sul lato bifase invece sono date, entrambe o una sola di esse, dalla risultante di tensioni parziali di adeguata grandezza e sfasamento, generate in parti di avvolgimenti connessi tra loro, situati su più di una colonna.

A ciò si collegano particolari condizioni di funzionamento che non si riscontrano in trasformatori con egual numero di fasi sui due lati. Queste condizioni verranno esaminate e chiarite in seguito per il particolare tipo di trasformatore bi-trifase rappresentato schematicamente in fig. 1, il cui relativo diagramma vettoriale delle tensioni a vuoto è riportato in fig. 2. Per ragioni di semplicità si è ritenuto essere gli avvolgimenti del lato trifase di alimentazione collegati a stella, senza con ciò ledere minimamente la generalità delle considerazioni che si svolgeranno.

Questo trasformatore presenta una comune ossatura magnetica trifase con tutte e tre le colonne avvolte. Esso è caratterizzato, sul lato bifase, dagli avvolgimenti 2, 2', e 2'' connessi a triangolo come in un abituale trasformatore trifase e da due avvolgimenti supplementari 3' e 3'' situati ognuno su una diversa colonna — per questi due avvolgimenti sono state scelte, per ragioni di simmetria, le due colonne esterne — avente il primo avvolgimento parziale 3' il numero di spire $(\sqrt{3}-1)n_2$ ed il secondo avvolgimento il numero di

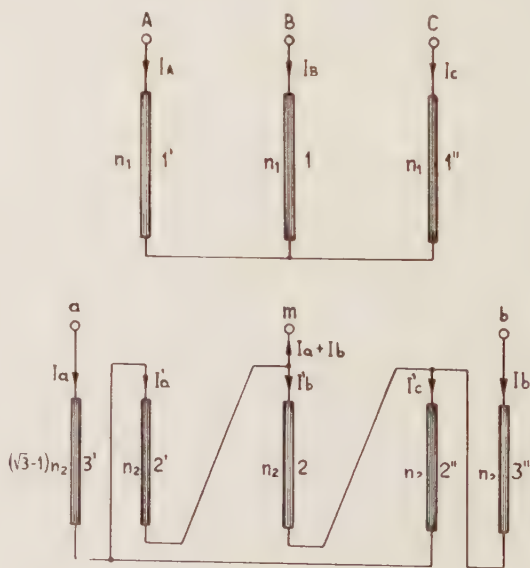


Fig. 1. — Rappresentazione schematica degli avvolgimenti per il trasformatore bi-trifase esaminato.

(*) Dr. Ing. Ugo RösCH, della Siemens S.p.A., Milano.

spire n_2 , essendo n_2 il numero di spire dell'avvolgimento base connesso a triangolo. Mentre, quindi, come risulta dal diagramma di fig. 2, la tensione a vuoto \dot{u}_{a0} del lato bifase tra il morsetto a ed il morsetto m si compone delle due tensioni parziali \dot{u}'_{a20} e \dot{u}'_{a30} diverse tra loro in grandezza, ma equifasi, la tensione \dot{u}_{b0} tra il morsetto b e il morsetto m è la risultante di due tensioni parziali \dot{u}'_{b20} e \dot{u}'_{b30} eguali tra loro in grandezza ma sfasate di 120° , esattamente come le tensioni parziali di una fase di un avvolgimento trifase connesso a zig-zag.

CORRENTI NEI SINGOLI AVVOLGIMENTI.

Per questo tipo di trasformatore, di cui chi scrive si è occupato in un lavoro precedente nel 1951, con le indicazioni riportate in fig. 1, sussistono le seguenti relazioni, peraltro facilmente dimostrabili, tra le correnti dei singoli avvolgimenti in funzione delle delle due correnti generiche \dot{I}_A e \dot{I}_B del lato bifase ritenute note:

$$(1) \quad \left\{ \begin{aligned} \dot{I}_A &= -\frac{n_2}{n_1} \frac{2}{\sqrt{3}} \dot{I}_a \\ \dot{I}_B &= \frac{n_2}{n_1} \frac{\dot{I}_a + \sqrt{3} \dot{I}_b}{\sqrt{3}} \\ \dot{I}_C &= \frac{n_2}{n_1} \frac{\dot{I}_a - \sqrt{3} \dot{I}_b}{\sqrt{3}} \\ \dot{I}'_a &= \frac{\sqrt{3} - 1}{\sqrt{3}} \dot{I}_a \\ \dot{I}'_b &= -\frac{\dot{I}_a + \sqrt{3} \dot{I}_b}{\sqrt{3}} \\ \dot{I}'_c &= -\frac{1}{\sqrt{3}} \dot{I}_a \end{aligned} \right.$$

avendo indicato con n_1 il numero di spire di fase dell'avvolgimento trifase di alimentazione. Tenendo presente che da questo lato, in ogni condizione di funzionamento, vale

$$(2) \quad \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$$

si ricavano dalle (1) anche le seguenti relazioni:

$$(3) \quad \left\{ \begin{aligned} \dot{I}_a &= -\frac{\sqrt{3}}{2} \frac{n_1}{n_2} \dot{I}_A \\ \dot{I}_b &= \frac{n_1}{n_2} \frac{\dot{I}_A + 2 \dot{I}_B}{2} \\ \dot{I}'_a &= -\frac{\sqrt{3} - 1}{2} \frac{n_1}{n_2} \dot{I}_A \\ \dot{I}'_b &= -\frac{n_1}{n_2} \dot{I}_B \\ \dot{I}'_c &= \frac{1}{2} \frac{n_1}{n_2} \dot{I}_A \end{aligned} \right.$$

Mentre le correnti \dot{I}_A , \dot{I}_B , \dot{I}_C del lato trifase, nel caso di carico assolutamente simmetrico sul lato bifase, ($|\dot{I}_a| = |\dot{I}_b|$, $\dot{I}_a = j \dot{I}_b$) formano, secondo le relazioni (1), anch'esse un sistema simmetrico, ciò non si verifica per le tre correnti \dot{I}'_a , \dot{I}'_b , \dot{I}'_c negli avvolgimenti 2, 2' e 2'' connessi a triangolo sul lato bifase.

IMPEDENZE EFFICACI DI CORTO CIRCUITO DEI SINGOLI AVVOLGIMENTI.

Un semplice esame dello schema di fig. 1 fa notare immediatamente che tutti gli avvolgimenti di tutte e tre le colonne, dal punto di vista delle dispersioni magnetiche generate dalle correnti di carico, hanno un comportamento quantitativo, ed in parte anche sostanziale, differente tra loro. I due avvolgimenti 1 e 2 della colonna centrale, ai quali si può attribuire una impedenza singola di corto circuito, riferita all'avvolgimento 1, pari a $\dot{Z}'_{c1,1}$ per l'avvolgimento 1, rispettivamente $\dot{Z}'_{c2,1}$ per l'avvolgimento 2 e quindi una impedenza globale tra questi due avvolgimenti:

$$(4) \quad \dot{Z}'_{c12,1} = \dot{Z}'_{c1,1} + \dot{Z}'_{c2,1}$$

rappresentano un trasformatore monofase a due avvolgimenti. Su ognuna delle due colonne esterne invece si hanno due complessi, ognuno di tre avvolgimenti, ciascuno dei quali, quindi, dà luogo nel suo insieme ad un comportamento eguale a quello di un trasformatore a tre avvolgimenti anch'esso monofase. Secondo la teoria del trasformatore a tre avvolgimenti è possibile definire una impedenza efficace di corto circuito da attribuire ad ognuno dei tre avvolgimenti di queste due colonne, la quale è una funzione delle impedenze di corto circuito delle tre coppie di avvolgimenti di una colonna, misurate o calcolate immaginando alimentato rispettivamente uno dei tre avvolgimenti, cortocircuitato il secondo avvolgimento e funzionante a vuoto il terzo avvolgimento. Riportate all'avvolgimento trifase di alimentazione con il numero di spire di fase n_1 , queste tre impedenze efficaci dei singoli avvolgimenti delle due colonne esterne assumono i valori:

$$(5) \quad \left\{ \begin{aligned} \dot{Z}'_{c1,1} &= \frac{\dot{Z}'_{c12,1} + \dot{Z}'_{c13,1} - \dot{Z}'_{c23,1}}{2} \\ \dot{Z}'_{c2,1} &= \frac{\dot{Z}'_{c23,1} + \dot{Z}'_{c12,1} - \dot{Z}'_{c13,1}}{2} \\ \dot{Z}'_{c3,1} &= \frac{\dot{Z}'_{c13,1} + \dot{Z}'_{c23,1} - \dot{Z}'_{c12,1}}{2} \end{aligned} \right.$$

per gli avvolgimenti della colonna A, e

$$(6) \quad \left\{ \begin{aligned} \dot{Z}''_{c1,1} &= \frac{\dot{Z}''_{c12,1} + \dot{Z}''_{c13,1} - \dot{Z}''_{c23,1}}{2} \\ \dot{Z}''_{c2,1} &= \frac{\dot{Z}''_{c23,1} + \dot{Z}''_{c12,1} - \dot{Z}''_{c13,1}}{2} \\ \dot{Z}''_{c3,1} &= \frac{\dot{Z}''_{c13,1} + \dot{Z}''_{c23,1} - \dot{Z}''_{c12,1}}{2} \end{aligned} \right.$$

per i tre avvolgimenti della colonna B, essendo $\dot{Z}'_{cfs,1}$ rispettivamente $\dot{Z}''_{cfs,1}$ l'impedenza di corto circuito binario, riportata all'avvolgimento trifase 1, tra la coppia di avvolgimenti generici r e s della colonna A rispettivamente della colonna C.

Si potrebbe giustamente obiettare che avvolgimenti corrispondenti delle due colonne, ad esempio gli avvolgimenti 2' e 2'', secondo le posizioni 5) e 6), sono affetti da impedenze efficaci di corto circuito con valori differenti, in genere, della parte reattiva, nonostante che essi facciano parte di un complesso di 3 avvolgimenti che sulle colonne hanno lo stesso numero di spire n_2 e sono connessi tra loro a triangolo come un normale avvolgimento trifase. Questa distinzione non solo per la coppia 2' e 2'' di avvolgimenti in questione, ma anche

per le altre coppie $1'-1''$ e $3'-3''$ di avvolgimenti corrispondenti delle due colonne trova la sua giustificazione fisica nella circostanza che:

1) i tre avvolgimenti 2, 2', e 2'' delle tre colonne, nonostante egual numero di spire n_2 , conducono, secondo le relazioni (1), le tre correnti I_a' , I_b' , I_c' differenti in grandezza e fase tra loro già nel caso di carico simmetrico sul lato bifase. Anche a parità di densità di corrente, ognuno di questi avvolgimenti assumerà quindi dimensioni radiali differenti da quelle degli altri due corrispondenti delle altre due colonne. Questo stato di cose viene ancora più esaltato dal fatto che ognuno di questi avvolgimenti deve essere dimensionato termicamente anche per il caso limite più sfavorevole di un unico carico monofase ($I_a = 0$) per cui l'avvolgimento 2 della colonna mediana conduce la piena corrente di carico monofase I_b ;

2) gli avvolgimenti corrispondenti 3' e 3'' delle due colonne esterne, pur dovendo essere dimensionati per la piena corrente di carico, hanno un numero di spire sensibilmente diverso tra loro. Ciò contribuisce a dare anche a questi due avvolgimenti differenti dimensioni radiali.

In base alle considerazioni generiche svolte ai punti 1) e 2), risulta, quindi, senz'altro chiaro che, essendo, in genere, differente la impedenza di corto circuito di due coppie qualsiasi di avvolgimenti corrispondenti delle due colonne esterne, ad esempio delle coppie 2'-3' e 2''-3'', e così pure delle altre coppie corrispondenti, le impedenze efficaci di due avvolgimenti corrispondenti delle stesse colonne esterne, ad es. 1' e 1'', secondo le relazioni (5) e (6), dovranno risultare differenti tra loro, nonostante che questi due ultimi avvolgimenti abbiano lo stesso numero di spire n_1 e conducano, secondo le relazioni (1), almeno nel caso teorico di carico utile simmetrico sul lato bifase, correnti I_A e I_C di eguale ampiezza.

Come immediata conseguenza dell'influenza di tutti questi fattori elencati, discende che già a carico bifase simmetrico le cadute di tensione per ogni fase non saranno eguali nè in fase nè in grandezza, se non si adottano opportuni provvedimenti di carattere costruttivo che si discuteranno in seguito. Per quanto questa circostanza possa, a prima vista, sembrare di poca

importanza tecnica agli effetti dell'esercizio, essa assume un eminente interesse pratico nei riguardi del collaudo del trasformatore, nel qual caso, infatti, le due correnti sul lato bifase non vengono definite, come in esercizio, principalmente dalle caratteristiche degli utenti, ma vengono stabilite unicamente dai valori delle impedenze di corto circuito dei singoli avvolgimenti e quindi possono presentare caratteristiche di grandezza e di fase notevolmente diverse da quelle di un sistema bifase simmetrico. Ciò si riflette eventualmente, secondo le relazioni (1), le quali sussistono in ogni caso di funzionamento, anche su tutte le rimanenti correnti negli avvolgimenti e nella linea di alimentazione.

Per poter esaminare da vicino questi fenomeni ed escogitare gli eventuali accorgimenti da prendere, bisogna conoscere le tensioni che, non solo a carico, ma anche — e soprattutto — in corto circuito si stabiliscono ai capi dei singoli avvolgimenti del trasformatore.

EQUAZIONI DELLE TENSIONI AI CAPI DEI SINGOLI AVVOLGIMENTI.

Si ammetta, per ora, che la alimentazione del trasformatore avvenga dal lato trifase a mezzo di un sistema di tensioni

$$(7) \quad \dot{U}_A = \dot{U}_B = \dot{U}_C = 0$$

assolutamente simmetrico, per il quale cioè sia:

$$(8) \quad \begin{cases} \dot{U}_B = e^{-j120^\circ} \dot{U}_A \\ \dot{U}_C = e^{+j120^\circ} \dot{U}_A \end{cases}$$

Siano poi \dot{u}_{a2} , \dot{u}_{a3} , \dot{u}_{b2} , \dot{u}_{c2} e \dot{u}_{c3} le tensioni che, con le correnti di carico indicate in fig. 1 si stabiliscono ai capi degli avvolgimenti 2', 3', 2, 2'' e 3'' del lato bifase, mentre \dot{U}_A' , \dot{U}_B' , \dot{U}_C' rappresentino le tensioni che, sempre con le stesse correnti di carico, si manifestano tra i morsetti di entrata ed il neutro degli avvolgimenti 1', 1, 1'' del lato trifase. Con ciò è stato implicitamente ammesso che le tensioni \dot{U}_A' , \dot{U}_B' , \dot{U}_C' assumono valori differenti dalle corrispondenti tensioni \dot{U}_A , \dot{U}_B , \dot{U}_C di fase della linea. Si vedrà poi se tale ammissione è effettivamente giustificata.

Secondo un lavoro precedente [1], si ha:

$$(9) \quad \begin{cases} \dot{u}_{a2} = \frac{n_2}{n_1} \left[\dot{U}_A' - \frac{n_2}{n_1} \dot{Z}'_{c12,1} \dot{I}_a' - (\sqrt{3}-1) \frac{n_2}{n_1} \frac{\dot{Z}'_{c12,1} + \dot{Z}'_{c13,1} - \dot{Z}'_{c23,1}}{2} \dot{I}_a' \right] \\ \dot{u}_{a3} = (\sqrt{3}-1) \frac{n_2}{n_1} \left[\dot{U}_A' - \frac{n_2}{n_1} \frac{\dot{Z}'_{c12,1} + \dot{Z}'_{c13,1} - \dot{Z}'_{c23,1}}{2} \dot{I}_a' - (\sqrt{3}-1) \frac{n_2}{n_1} \dot{Z}'_{c13,1} \dot{I}_a' \right] \end{cases}$$

per gli avvolgimenti 1', 2' e 3' della colonna A,

$$(10) \quad \dot{u}_{b2} = \frac{n_2}{n_1} \left(\dot{U}_B' - \frac{n_2}{n_1} \dot{Z}_{c12,1} \dot{I}_b' \right)$$

per gli avvolgimenti 1 e 2 della colonna B e

$$(11) \quad \begin{cases} \dot{u}_{c2} = \frac{n_2}{n_1} \left(\dot{U}_C' - \frac{n_2}{n_1} \dot{Z}''_{c12,1} \dot{I}_c' - \frac{n_2}{n_1} \frac{\dot{Z}''_{c12,1} + \dot{Z}''_{c13,1} - \dot{Z}''_{c23,1}}{2} \dot{I}_b' \right) \\ \dot{u}_{c3} = \frac{n_2}{n_1} \left(\dot{U}_C' - \frac{n_2}{n_1} \frac{\dot{Z}''_{c12,1} + \dot{Z}''_{c13,1} - \dot{Z}''_{c23,1}}{2} \dot{I}_c' - \frac{n_2}{n_1} \dot{Z}''_{c13,1} \dot{I}_b' \right) \end{cases}$$

per gli avvolgimenti 1'', 2'' e 3'' della colonna C. Essendo poi secondo il diagramma di fig. 2 e la fig. 1:

$$(12) \quad \begin{cases} \dot{u}_a = \dot{u}_{a2} + \dot{u}_{a3} \\ \dot{u}_b = \dot{u}_{c3} - \dot{u}_{b2} \end{cases}$$

e tenendo conto di (5) e (6), si ha:

$$(13) \quad \begin{cases} \dot{u}_a = \frac{n_2}{n_1} \left\{ \sqrt{3} \dot{U}' - \frac{n_2}{n_1} [(\sqrt{3}-1) \dot{Z}'_{c1,1} + \dot{Z}'_{c12,1}] \dot{I}'_a - (\sqrt{3}-1) \frac{n_2}{n_1} [\dot{Z}'_{c1,1} + (\sqrt{3}-1) \dot{Z}'_{c13,1}] \dot{I}'_a \right\} \\ \dot{u}_b = \frac{n_2}{n_1} \left\{ (\dot{U}'_C - \dot{U}'_B) - \frac{n_2}{n_1} [-\dot{Z}_{c12,1} \dot{I}'_b + \dot{Z}''_{c1,1} \dot{I}'_C + \dot{Z}''_{c13,1} \dot{I}'_b] \right\} \end{cases}$$

Il collegamento a triangolo degli avvolgimenti 2, 2' e 2'' del lato bifase impone d'altra parte la condizione:

$$(14) \quad \dot{u}'_{a2} + \dot{u}'_{b2} + \dot{u}'_{c2} = 0$$

la quale, in virtù delle relazioni (5), (6), (8), (9), (10) e (11), fornisce:

$$(15) \quad \dot{U}'_A + \dot{U}'_B + \dot{U}'_C = \frac{n_2}{n_1} [\dot{Z}'_{c12,1} \dot{I}'_a + (\sqrt{3}-1) \dot{Z}'_{c1,1} \dot{I}'_a + \dot{Z}_{c12,1} \dot{I}'_b + \dot{Z}''_{c1,1} \dot{I}'_b + \dot{Z}''_{c12,1} \dot{I}'_C]$$

Sostituendo ora le relazioni (3) in (13) e (15) si ha infine:

$$(16) \quad \begin{cases} \dot{u}_a = \frac{n_2}{n_1} \left\{ \sqrt{3} \dot{U}'_A + \frac{\sqrt{3}-1}{2} [(\sqrt{3}-1) \dot{Z}'_{c1,1} + \dot{Z}'_{c12,1}] \dot{I}'_A + \right. \\ \quad \left. + \sqrt{3} \frac{\sqrt{3}-1}{2} [\dot{Z}'_{c1,1} + (\sqrt{3}-1) \dot{Z}'_{c13,1}] \dot{I}'_A \right\} \\ \dot{u}_b = \frac{n_2}{n_1} \left\{ (\dot{U}'_C - \dot{U}'_B) - [(\dot{Z}_{c12,1} + \dot{Z}''_{c13,1}) \dot{I}'_B + (\dot{Z}''_{c1,1} + \dot{Z}''_{c13,1})] \frac{\dot{I}'_A}{2} \right\} \\ \dot{U}'_A + \dot{U}'_B + \dot{U}'_C = \frac{[\dot{Z}''_{c1,1} + \dot{Z}''_{c12,1} - \sqrt{3}(\sqrt{3}-1) \dot{Z}'_{c1,1} - (\sqrt{3}-1) \dot{Z}'_{c12,1}] \dot{I}'_A + 2(\dot{Z}''_{c1,1} - \dot{Z}_{c12,1}) \dot{I}'_B}{2} \end{cases}$$

Queste equazioni che vincolano le tensioni e le correnti nei singoli avvolgimenti dei due lati valgono in via completamente generica, cioè sia per una alimentazione del lato trifase con le tensioni di fase \dot{U}_A , \dot{U}_B , \dot{U}_C della linea e le tensioni \dot{U}'_A , \dot{U}'_B , \dot{U}'_C che si stabiliscono ai capi di ogni avvolgimento di fase del lato trifase, con che le tensioni incognite sul lato bifase vengono definite dalle due prime equazioni (16), sia per un'alimentazione dal lato bifase con le tensioni \dot{u}_a e \dot{u}_b e le tensioni \dot{U}'_A , \dot{U}'_B , \dot{U}'_C che si ottengono a carico sul lato di utilizzazione trifase.

L'ultima equazione (16) mostra chiaramente che le tre tensioni \dot{U}'_A , \dot{U}'_B , \dot{U}'_C in ogni caso, a causa dei fe-

Questa tensione di squilibrio quindi è immediatamente nota quando si conoscono le due correnti \dot{I}'_A e \dot{I}'_B che si dovranno determinare per altra via, come si indicherà in seguito. Ad ogni modo la relazione generica (18) conferma pienamente quanto è stato asserito all'inizio, che cioè non solo il potenziale del punto neutro degli avvolgimenti di alimentazione non è nullo, anche se lo è quello del centro stella delle tensioni di fase della linea, ma che anche le tensioni che si stabiliscono tra inizio di ogni fase di alimentazione ed il punto neutro non corrispondono alle tensioni di fase della linea.

Ai fini di questa nota più che i valori delle singole

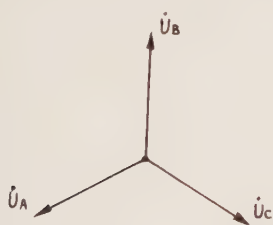
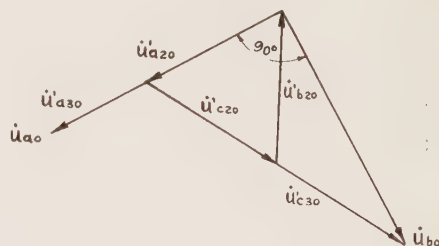


Fig. 2. — Diagramma vettoriale delle tensioni a vuoto per il trasformatore di fig. 1.



nomeni determinati dalla diversità delle impedenze efficaci di corto circuito dei singoli avvolgimenti a cui s'è accennato più sopra, non formano un sistema simmetrico, cioè a somma vettoriale nulla, neanche quando l'alimentazione avviene dal lato trifase col sistema simmetrico (7). Esse invece danno luogo ad una tensione di squilibrio \dot{U}_0 al neutro dell'avvolgimento, anche se il carico bifase è assolutamente simmetrico.

Tale tensione può essere calcolata facilmente.

Essendo infatti:

$$(17) \quad \dot{U}'_A = \dot{U}_A - \dot{U}_0; \dot{U}'_B = \dot{U}_B - \dot{U}_0; \dot{U}'_C = \dot{U}_C - \dot{U}_0$$

si ha, dall'ultima delle equazioni (15), tenendo conto della relazione (7):

$$(18) \quad \dot{U}_0 = \frac{[\dot{Z}''_{c1,1} + \dot{Z}''_{c12,1} - \sqrt{3}(\sqrt{3}-1) \dot{Z}'_{c1,1} - (\sqrt{3}-1) \dot{Z}'_{c12,1}] \dot{I}'_A + 2(\dot{Z}''_{c1,1} - \dot{Z}_{c12,1}) \dot{I}'_B}{6}$$

correnti e tensioni ai capi di tutti gli avvolgimenti interessa conoscere particolarmente le condizioni di funzionamento in corto circuito bifase, in quanto da esse ne conseguono le modalità di esecuzione delle prove di collaudo sia agli effetti della determinazione dell'impedenza di corto circuito risultante per fase che nei riguardi della verifica delle perdite degli avvolgimenti calcolata.

In tali condizioni è:

$$(19) \quad \dot{u}_a = \dot{u}_b = 0$$

e quindi da (16) si ha:

$$(20) \quad \begin{cases} \dot{U}_A' = \frac{\sqrt{3}-1}{2\sqrt{3}} [(2\sqrt{3}-1) \dot{Z}'_{C1,1} + \dot{Z}'_{C12,1} + \sqrt{3}(\sqrt{3}-1) \dot{Z}'_{C13,1}] \dot{I}_A \\ \dot{U}_B' + \dot{U}_C' = \frac{2(\dot{Z}'_{C12,1} + \dot{Z}''_{C13,1}) \dot{I}_B + (\dot{Z}''_{C1,1} + \dot{Z}''_{C13,1}) \dot{I}_A}{2} \end{cases}$$

Sostituendo ora la prima equazione (20) nell'ultima equazione (16), si ottiene:

$$(21) \quad \dot{U}_B' + \dot{U}_C' = \frac{[\sqrt{3}(\dot{Z}''_{C1,1} + \dot{Z}''_{C12,1}) + (\sqrt{3}-1)^2 (\sqrt{3} \dot{Z}'_{C13,1} - \dot{Z}'_{C12,1}) - 2(\sqrt{3}-1)(2-\sqrt{3}) \dot{Z}'_{C1,1}] \dot{I}_A + 2\sqrt{3}(\dot{Z}''_{C1,1} - \dot{Z}'_{C12,1}) \dot{I}_B}{2\sqrt{3}}$$

Da (20) e (21) si ha infine:

$$(22) \quad \begin{cases} \dot{U}_A' = -(\sqrt{3}-1) \frac{(2\sqrt{3}-1) \dot{Z}'_{C1,1} + \dot{Z}'_{C12,1} + \sqrt{3}(\sqrt{3}-1) \dot{Z}'_{C13,1}}{2\sqrt{3}} \dot{I}_A \\ \dot{U}_B' = \frac{[\sqrt{3}(\dot{Z}'_{C12,1} - \dot{Z}''_{C13,1}) + (\sqrt{3}-1)^2 (\sqrt{3} \dot{Z}'_{C13,1} - \dot{Z}'_{C12,1}) - 2(\sqrt{3}-1)(2-\sqrt{3}) \dot{Z}'_{C1,1}] \dot{I}_A +}{4\sqrt{3}} + 2\sqrt{3}(\dot{Z}''_{C13,1} + \dot{Z}'_{C12,1}) \dot{I}_B \\ \dot{U}_C' = \frac{[\sqrt{3}(\dot{Z}''_{C12,1} + \dot{Z}''_{C13,1} + 2\dot{Z}'_{C13,1}) + (\sqrt{3}-1)^2 (\sqrt{3} \dot{Z}'_{C1,1} - \dot{Z}'_{C13,1}) - 2(\sqrt{3}-1)(2-\sqrt{3}) \dot{Z}'_{C1,1}] \dot{I}_A +}{4\sqrt{3}} + 2\sqrt{3}(\dot{Z}''_{C1,1} + \dot{Z}''_{C13,1}) \dot{I}_B \end{cases}$$

Ponendo ora, per semplicità:

$$(23) \quad \begin{cases} \dot{A} = (\sqrt{3}-1) \frac{(2\sqrt{3}-1) \dot{Z}'_{C1,1} + \dot{Z}'_{C12,1} + \sqrt{3}(\sqrt{3}-1) \dot{Z}'_{C13,1}}{2\sqrt{3}} \\ \dot{B} = \frac{\sqrt{3}(\dot{Z}'_{C13,1} - \dot{Z}''_{C12,1}) + (\sqrt{3}-1)^2 (\sqrt{3} \dot{Z}'_{C12,1} - \sqrt{3} \dot{Z}'_{C13,1}) + 2(\sqrt{3}-1)(2-\sqrt{3}) \dot{Z}'_{C1,1}}{4\sqrt{3}} \\ \dot{C} = \frac{\dot{Z}'_{C12,1} + \dot{Z}''_{C13,1}}{2} \\ \dot{D} = \frac{-\sqrt{3}(2\dot{Z}'_{C1,1} + \dot{Z}''_{C12,1} + \dot{Z}''_{C13,1}) + (\sqrt{3}-1)^2 (\dot{Z}'_{C12,1} - \sqrt{3} \dot{Z}'_{C13,1}) + 2(\sqrt{3}-1)(2-\sqrt{3}) \dot{Z}'_{C1,1}}{4\sqrt{3}} \\ \dot{E} = -\frac{\dot{Z}''_{C1,1} + \dot{Z}''_{C13,1}}{2} \end{cases}$$

si ha semplicemente:

$$(24) \quad \begin{cases} \dot{U}_A' = -\dot{A} \dot{I}_A \\ \dot{U}_B' = -\dot{B} \dot{I}_A - \dot{C} \dot{I}_B \\ \dot{U}_C' = -\dot{D} \dot{I}_A - \dot{E} \dot{I}_B \end{cases}$$

Si vede che soltanto per la fase A dell'avvolgimento trifase, la tensione \dot{U}_A' che si stabilisce ai suoi capi è una funzione alquanto semplice della sola corrente relativa; per le altre due fasi le tensioni \dot{U}_B' e \dot{U}_C' sono espressioni piuttosto complesse delle due correnti \dot{I}_A e \dot{I}_B .

IMPEDENZE DI CORTO CIRCUITO DI FASE TOTALI.

Dalle relazioni (24) consegue che solo per la fase A è possibile definire direttamente una impedenza totale di corto circuito a mezzo della relazione:

$$(25) \quad -\frac{\dot{U}_A'}{\dot{I}_A} = \dot{A} = \dot{Z}_{tA}$$

Ciò significa che non solo le tre tensioni, ma anche le tre correnti \dot{I}_A , \dot{I}_B , \dot{I}_C assorbite non formano un sistema simmetrico, o, in altri termini, che le tre fasi di alimentazione presentano impedenze totali di corto circuito differenti tra loro.

Questo stato di cose risulta ancora più evidente se si considera il corto circuito tripolare sul lato trifase con alimentazione del trasformatore del lato bifase a mezzo delle tensioni simmetriche \dot{u}_a e \dot{u}_b .

In tal caso è:

$$(26) \quad \dot{U}_A' = \dot{U}_B' = \dot{U}_C' = 0$$

e quindi da (16) si ha:

$$(27) \begin{cases} \dot{u}_a = \frac{\sqrt{3}-1}{2} \frac{n_2}{n_1} [(2\sqrt{3}-1) \dot{Z}'_{c1,1} + \dot{Z}'_{c12,1} + \sqrt{3}(\sqrt{3}-1) \dot{Z}'_{c13,1}] \dot{I}_A \\ \dot{u}_b = - \frac{n_2}{n_1} \frac{2(\dot{Z}_{c12,1} + \dot{Z}''_{c13,1}) \dot{I}_B + (\dot{Z}''_{c1,1} + \dot{Z}''_{c13,1}) \dot{I}_A}{2} \end{cases}$$

Sostituendo ora in (27) i valori (3) si ha:

$$(28) \begin{cases} \dot{u}_a = - \frac{\sqrt{3}-1}{\sqrt{3}} \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 [(2\sqrt{3}-1) \dot{Z}'_{c1,1} + \dot{Z}'_{c12,1} + \sqrt{3}(\sqrt{3}-1) \dot{Z}'_{c13,1}] \dot{I}_a \\ \dot{u}_b = - \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 \frac{(\dot{Z}_{c12,1} - \dot{Z}''_{c1,1}) \dot{I}_a + \sqrt{3}(\dot{Z}_{c12,1} + \dot{Z}''_{c13,1}) \dot{I}_b}{2} \\ [\dot{Z}_{c12,1} + \dot{Z}''_{c12,1} - \sqrt{3}(\sqrt{3}-1) \dot{Z}'_{c1,1} - (\sqrt{3}-1) \dot{Z}'_{c12,1}] \dot{I}_a = - \sqrt{3}(\dot{Z}_{c12,1} - \dot{Z}''_{c1,1}) \dot{I}_b \end{cases}$$

per cui:

$$(29) \begin{cases} \dot{I}_a = \sqrt{3} \frac{\dot{Z}''_{c1,1} - \dot{Z}_{c12,1}}{\dot{Z}_{c12,1} + \dot{Z}''_{c12,1} - \sqrt{3}(\sqrt{3}-1) \dot{Z}'_{c1,1} - (\sqrt{3}-1) \dot{Z}'_{c12,1}} \dot{I}_b \end{cases}$$

Sostituendo nella seconda delle relazioni (28), si ottiene:

$$(30) \begin{cases} - \frac{\dot{u}_a}{\dot{I}_a} = \dot{Z}_{ta} = \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 \frac{\sqrt{3}-1}{\sqrt{3}} [(2\sqrt{3}-1) \dot{Z}'_{c1,1} + \dot{Z}'_{c12,1} + \sqrt{3}(\sqrt{3}-1) \dot{Z}'_{c13,1}] \\ - \frac{\dot{u}_b}{\dot{I}_b} = \dot{Z}_{tb} = \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 \left[(\dot{Z}_{c12,1} - \dot{Z}''_{c13,1}) - \frac{(\dot{Z}''_{c1,1} - \dot{Z}_{c12,1})^2}{[\dot{Z}_{c12,1} + \dot{Z}''_{c12,1} - \sqrt{3}(\sqrt{3}-1) \dot{Z}'_{c1,1} - (\sqrt{3}-1) \dot{Z}'_{c12,1}]} \right] \end{cases}$$

Risulta quindi chiaro che le due impedenze totali \dot{Z}_{ta} e \dot{Z}_{tb} in generale non saranno eguali tra loro. Alimentando perciò il trasformatore dal lato bifase con due tensioni eguali in ampiezza e sfasate esattamente a 90° , le correnti \dot{I}_a e \dot{I}_b assorbite saranno diverse in grandezza e sfasate di un angolo differente da 90° . Conseguentemente le altre correnti definite dalle relazioni (1) avranno valori diversi da quelli relativi ad un carico bifase simmetrico. In corto circuito, quindi, si misureranno perdite negli avvolgimenti diverse da quelle calcolate per il carico simmetrico nominale.

Per questo tipo di alimentazione bifase e corto circuito trifase, è però sempre possibile misurare le due impedenze (30), anche se diverse tra loro, in quanto il morsetto m è sempre accessibile e tra esso ed i due morsetti di entrata a e b sussistono, in ogni caso, le due tensioni di fase del sistema simmetrico bifase applicato.

Non si può dire altrettanto per alimentazione dal lato trifase e corto circuito sul lato bifase. La misura delle impedenze totali di fase presuppone, secondo la formula (22), l'accessibilità del neutro dell'avvolgimento di alimentazione a stella, in quanto le tensioni \dot{U}_A' , \dot{U}_B' , \dot{U}_C' non coincidono con le tensioni di fase della linea.

Nel caso di neutro non accessibile è possibile, però, definire delle impedenze di fase fittizie, in genere differenti tra loro, le quali si determinano nel modo seguente.

Dalle equazioni (17) e (24) si ottiene:

$$(31) \begin{cases} \dot{U}_A = -\dot{A} \dot{I}_A + \dot{U}_0 \\ \dot{U}_B = -\dot{B} \dot{I}_A + \dot{C} \dot{I}_B + \dot{U}_0 \\ \dot{U}_C = -\dot{D} \dot{I}_A + \dot{E} \dot{I}_B + \dot{U}_0 \end{cases}$$

Ponendo:

$$(32) \begin{cases} \dot{F} = \frac{\dot{Z}''_{c1,1} + \dot{Z}''_{c12,1} - \sqrt{3}(\sqrt{3}-1) \dot{Z}'_{c1,1} - (\sqrt{3}-1) \dot{Z}'_{c12,1}}{6} \\ \dot{G} = \frac{2(\dot{Z}''_{c1,1} - \dot{Z}_{c12,1})}{3} \end{cases}$$

si ottiene da (18)

$$(33) \quad \dot{U}_0 = -\dot{F} \dot{I}_A - \dot{G} \dot{I}_B$$

e quindi sostituendo in (31):

$$(34) \quad \begin{cases} \dot{U}_A = -(\dot{A} + \dot{F}) \dot{I}_A - \dot{G} \dot{I}_B \\ \dot{U}_B = -(\dot{B} + \dot{F}) \dot{I}_A - (\dot{C} + \dot{G}) \dot{I}_B \\ \dot{U}_C = -(\dot{D} + \dot{F}) \dot{I}_A - (\dot{E} + \dot{G}) \dot{I}_B \end{cases}$$

la cui somma, tenuto conto di (7), da:

$$(35) \quad -(\dot{A} + \dot{B} + \dot{D} + 3\dot{F}) \dot{I}_A = (\dot{C} + \dot{E} + 3\dot{G}) \dot{I}_B$$

e quindi:

$$\dot{I}_B = - \frac{\dot{A} + \dot{B} + \dot{D} + 3\dot{F}}{\dot{C} + \dot{E} + 3\dot{G}} \dot{I}_A$$

Sostituendo ora in (34):

$$(36) \begin{cases} - \frac{\dot{U}_A}{\dot{I}_A} = \dot{Z}_{tA} = \dot{A} + \dot{F} + \frac{\dot{A} + \dot{B} + \dot{D} + 3\dot{F}}{\dot{C} + \dot{E} + 3\dot{G}} \dot{G} \\ - \frac{\dot{U}_B}{\dot{I}_B} = \dot{Z}_{tB} = \\ = \dot{C} + \dot{G} + \frac{\dot{C} + \dot{E} + 3\dot{G}}{\dot{A} + \dot{B} + \dot{D} + 3\dot{F}} (\dot{F} + \dot{B}) \\ - \frac{\dot{U}_C}{\dot{I}_C} = \dot{Z}_{tC} \end{cases}$$

Perciò, anche se è possibile misurare le tre impedenze fittizie (36), che in effetti non hanno niente a che vedere con le impedenze risultanti di corto circuito di ogni fase, il loro calcolo, che dovrebbe essere eseguito in sede di progettazione, rimane in ogni caso molto laborioso. Altrettanto laborioso risulta il calcolo delle correnti effettive e delle perdite relative nei singoli avvolgimenti, che differiscono da quelle che competono ad un sistema simmetrico di correnti assorbite sul lato trifase.

Quindi, ricapitolando, si può senz'altro affermare che, in genere, non vi sarà rispondenza tra le perdite misurate in sede di collaudo e quelle calcolate ammettendo un carico utile nominale di natura simmetrica.

UNIFORMIZZAZIONE DELLE IMPEDENZE TOTALI DI CORTO CIRCUITO PER TUTTE LE FASI.

Tutti gli inconvenienti enumerati, come pure la diversità delle cadute di tensione nelle singole fasi a carico simmetrico, possono essere eliminati con opportuni accorgimenti costruttivi che vengono suggeriti dalla trattazione matematica svolta.

Si intuisce che, affinché il sistema trifase di correnti assorbite nel caso di corto circuito sul lato bifase risulti simmetrico, è innanzitutto necessario che scompaia la tensione \dot{U}_0 di squilibrio al neutro del trasformatore. Secondo la relazione (18), ciò si può ottenere in maniera molto semplice, se i singoli avvolgimenti, nelle loro dimensioni geometriche, vengono proporzionati in modo tale, che risulti contemporaneamente:

$$(37) \quad \begin{cases} \dot{Z}''_{c1,1} = \dot{Z}_{c12,1} \\ \dot{Z}''_{c1,1} + \dot{Z}''_{c12,1} = (\sqrt{3} - 1) (\sqrt{3} \dot{Z}'_{c1,1} + \dot{Z}'_{c12,1}) \end{cases}$$

il che è sempre possibile a realizzarsi.

Il soddisfacimento delle condizioni (37) però non è ancora sufficiente per assicurare l'eguaglianza delle impedenze totali di corto circuito delle tre fasi di alimentazione.

Questa eguaglianza si ottiene imponendo l'altra condizione che sia:

$$(38) \quad \begin{cases} \dot{U}'_B = e^{-j120^\circ} \dot{U}'_A \\ \dot{U}'_C = e^{j120^\circ} \dot{U}'_A \\ \dot{I}_B = e^{-j120^\circ} \dot{I}_A \end{cases}$$

Sostituendo ora questi valori in (20), si ha:

$$(39) \quad \begin{cases} \dot{U}'_A = - \frac{\sqrt{3}-1}{2\sqrt{3}} [(2\sqrt{3}-1) \dot{Z}'_{c1,1} + \dot{Z}'_{c12,1} + \sqrt{3}(\sqrt{3}-1) \dot{Z}'_{c13,1}] \dot{I}_A \\ \dot{U}'_A = \frac{2(\dot{Z}_{c12,1} + \dot{Z}''_{c13,1}) e^{-j120^\circ} + (\dot{Z}''_{c1,1} + \dot{Z}''_{c13,1}) \dot{I}_A}{2(e^{-j120^\circ} - e^{j120^\circ})} \end{cases}$$

Dall'eguaglianza di queste due relazioni si ottiene:

$$(40) \quad \begin{cases} (\dot{Z}''_{c1,1} + \dot{Z}''_{c13,1}) + 2(\dot{Z}_{c12,1} + \dot{Z}''_{c13,1}) e^{-j120^\circ} = \\ = \frac{\sqrt{3}-1}{\sqrt{3}} (e^{-j120^\circ} - e^{j120^\circ}) [(2\sqrt{3}-1) \dot{Z}'_{c1,1} + \\ + \dot{Z}'_{c12,1} + \sqrt{3}(\sqrt{3}-1) \dot{Z}'_{c13,1}] \end{cases}$$

cioè, sviluppando e tenendo presente la prima relazione (37):

$$(41) \quad \begin{aligned} \dot{Z}''_{c13,1} + \dot{Z}_{c12,1} &= \frac{\sqrt{3}-1}{\sqrt{3}} [(2\sqrt{3}-1) \dot{Z}'_{c1,1} + \\ &+ \dot{Z}'_{c12,1} + \sqrt{3}(\sqrt{3}-1) \dot{Z}'_{c13,1}]. \end{aligned}$$

Vengono soddisfatte, quindi, contemporaneamente le tre condizioni (37) e (41), allora il sistema delle tensioni che si stabiliscono tra ogni morsetto di fase dell'avvolgimento trifase e il neutro di questo avvolgimento, come pure il sistema di corrente assorbito in corto circuito bifase, risulta simmetrico ed inoltre le tre fasi presentano eguali impedenze totali di corto circuito. Questa impedenza comune si ottiene immediatamente, in forma semplice, dalla seconda relazione (39).

Si ha:

$$(42) \quad - \frac{\dot{U}'_A}{\dot{I}_A} = \dot{Z}_{t,1} = \dot{Z}''_{c13,1} + \dot{Z}_{c12,1}.$$

L'osservanza dei criteri costruttivi di dimensionamento dei singoli avvolgimenti di tutte e tre le colonne del trasformatore contenuti nelle relazioni (37) e (41) consente l'adozione delle stesse modalità di collaudo come per un comune trasformatore trifase, in quanto le correnti negli avvolgimenti assumono, anche in corto circuito, gli stessi valori che hanno nell'esercizio con carico bifase simmetrico.

È facile ora verificare che queste condizioni di funzionamento, soddisfatte le relazioni (37) e (41), si presentano anche nel caso di alimentazione bifase e corto circuito tripolare sul lato trifase.

Ed infatti, affinché le due impedenze totali di fase (30) risultino eguali tra loro e quindi il sistema delle correnti \dot{I}_A e \dot{I}_B assorbite risulti simmetrico, dovrà essere, dalla seconda delle relazioni (30):

$$(43) \quad \dot{Z}''_{c1,1} = \dot{Z}_{c12,1}$$

e quindi dalla prima e dalla seconda delle relazioni (30):

$$(44) \quad \dot{Z}_{c12,1} + \dot{Z}''_{c13,1} = \frac{\sqrt{3}-1}{\sqrt{3}} [(2\sqrt{3}-1) \dot{Z}'_{c1,1} + \dot{Z}'_{c1,1} + \sqrt{3}(\sqrt{3}-1) \dot{Z}'_{c13,1}].$$

D'altra parte, soddisfacendo la condizione (43), non potendo essere la corrente \dot{I}_A nulla quando non lo è la corrente \dot{I}_B , dovrà essere dall'ultima delle relazioni (28) necessariamente:

$$(45) \quad \dot{Z}_{c12,1} + \dot{Z}''_{c12,1} = (\sqrt{3}-1) (\sqrt{3} \dot{Z}'_{c1,1} + \dot{Z}'_{c12,1})$$

Le condizioni (43)÷(45) corrispondono esattamente, come in effetti doveva essere, alle condizioni (37) e (41) sviluppate per un'alimentazione trifase e corto circuito sul lato bifase.

È evidente che all'atto pratico, per poter realizzare quelle condizioni di lavoro contenute nelle relazioni (37) e (41), che rappresentano prescrizioni di dimensionamento, bisognerà procedere per tentativi e successive approssimazioni sia per quanto riguarda le parti attive che le parti reattive delle singole impedenze di corto circuito che compaiono in tali espressioni. Ed infatti il numero delle equazioni di dimensionamento di tutti gli avvolgimenti di tutte e tre le colonne è inferiore al numero delle impedenze che compaiono in esse.

CONFERMA SPERIMENTALE.

I concetti sopra sviluppati sono stati applicati in occasione della costruzione di un trasformatore da forno

bi-trifase da 600 kVA, 50 Hz, alimentato dal lato trifase, con collegamento a stella degli avvolgimenti, con un sistema di tensioni costanti concatenate di 3600 Volt, mentre sul lato bifase bisognava realizzare, a vuoto, le tensioni di fase:

380,5 - 349 - 300 - 250 - 200 - 150 - 120 - 100 Volt.

Questa variazione delle tensioni di fase sul lato del forno è stata ottenuta a mezzo di variazione del numero di spire sul lato trifase. Poiché la tensione di corto circuito prescritta era dell'ordine del 5% delle tensioni nominali a vuoto, si ritenne necessario soddisfare le relazioni (37) e (41) tanto nelle parti attive, che corrispondono alle resistenze ohmiche, quanto nelle parti reattive che rispecchiano la dispersione magnetica degli avvolgimenti, giacchè, trattandosi di una potenza nominale non elevata del trasformatore, l'incidenza delle prime nei riguardi dei fenomeni che sono stati esaminati sarebbe stata non trascurabile, come lo può essere invece, in caso di potenze nominali ragguardevoli. Anche ciò s'è potuto ottenere con semplici accorgimenti costruttivi eseguendo gli avvolgimenti in parte in rame ed in parte in alluminio. Con alimentazione trifase a 50 Hz e 184 V nella posizione di minime spire dell'avvolgimento di alta tensione corrispondente alla massima tensione a vuoto sul lato bifase e cortocircuitando le due tensioni u_{a0} e u_{b0} , le correnti assorbite da ogni fase di alta tensione sono state:

$$I_A = 98 \text{ A}$$

$$I_B = 93,6 \text{ A}$$

$$I_C = 97 \text{ A}$$

mentre le perdite totali negli avvolgimenti sono ammontate a 9240 W.

Già un confronto dei valori delle tre correnti di fase misurate dà un'ottima conferma dell'esattezza dei criteri suggeriti dalla trattazione svolta, in quanto lo scarto massimo del 4,5% delle correnti, oltre a rientrare nei limiti delle tolleranze, rispecchia anche la circostanza fatta già rilevare, che il soddisfacimento delle condizioni (37) e (41) non può avvenire che per successive approssimazioni e quindi, già per questa ragione, in

sede di progettazione, si accettano differenze tra prescrizioni teoriche e possibilità di realizzabilità tecnica che vengono ritenute tollerabili. Nel caso presente poi tali possibilità teoriche sono risultate aggravate, in sede di calcolo, dalla necessità di adeguare anche le resistenze ohmiche alle condizioni (37) e (41).

Ad ogni modo lo scarto del solo 4,5% tra le correnti misurate di nostra che le tre fasi di alimentazione hanno una impedenza risultante di corto circuito praticamente uguale, come la teoria richiede.

La tensione percentuale di corto circuito misurata a 19 °C per le tre fasi, riportata alla corrente nominale di 96,2 A, è del 5,02% per la fase A, del 4,8% per la fase B, e del 4,97% per la fase C, mentre secondo il calcolo si doveva avere 4,98%.

Le perdite totali calcolate per gli avvolgimenti, riferite a 19 °C come in sede di collaudo, sono state di 8900 W e mostrano un'ulteriore buona rispondenza tra aspettative e misura.

CONCLUSIONE.

La trattazione svolta, come pure i risultati quantitativi a cui si è arrivati, vale evidentemente per il particolare tipo di trasformatore bi-trifase di fig. 1 messo a base delle considerazioni fatte. I concetti qualitativi, però, hanno validità generica per qualsiasi tipo di trasformatore bi-trifase dotato di un'ossatura magnetica trifase, le cui tensioni sul lato bifase vengono ottenute quali risultanti di componenti di tensioni diverse in grandezza e fase, indotte in parti di avvolgimenti situati su differenti colonne. Le condizioni quantitative di uniformizzazione delle impedenze totali di fase vanno però determinate caso per caso. A ciò possono essere di guida i calcoli sviluppati.

Manoscritto pervenuto il 9 marzo 1959.

BIBLIOGRAFIA

- [1] RÖSCH: *Theorie des n-Wicklungstransformators*. - Archiv für Elektrotechnik. 1950.

LA STATISTICA NELLE TELECOMUNICAZIONI CON PARTICOLARE RIFERIMENTO ALLA TEORIA DELLE INFORMAZIONI

I. CAPPETTI (*)



Conferenza tenuta alla Sezione di Firenze dell'AEI il 6 febbraio 1959

Si mostra come la « densità spettrale » e la « funzione di correlazione » sintetizzano le proprietà statistiche delle funzioni d'informazione e sono alla base dei metodi di calcolo statistico dei circuiti. Si dà quindi la misura quantitativa dell'informazione e si analizza la portata della legge di Hartley generalizzata.

I) INTRODUZIONE.

Il calcolo delle probabilità e la statistica per molto tempo si sono occupati di questioni pratiche, quali quelle inerenti ad un calcolo razionale di una distribuzione dei rischi e dei guadagni nei giuochi d'azzardo o quelle che normalmente si presentano per la risoluzione di problemi di metodologia, o di matematica attuariale ed assicurativa; in questi ultimi tempi però essi sono andati assumendo una importanza sempre più crescente in tutti i campi della tecnica non solo, ma anche della fisica sperimentale e della scienza. E per comprendere l'importanza del loro intervento in quest'ultimo settore basti pensare che la statistica è in certo qual modo alla base di quel processo di critica della fisica classica che vuole vedere sostituito al principio del determinismo, l'indeterminismo inteso non come semplice sintesi di leggi casuali, ma come espressione di leggi probabilistiche valide sia per il semplice che per il molteplice. Ma senza entrare nel merito delle numerose discussioni di carattere filosofico che il principio dell'indeterminismo ha provocato, a noi è bastato accennare a questo principio per indicare l'enorme importanza che la statistica è andata acquistando in questi ultimi anni, anche per questioni di carattere puramente gnoseologico.

Comunque la necessità di conoscere sempre meglio le leggi del molteplice, che, non bisogna dimenticare, è l'unico con il quale si abbia a che fare quotidianamente, ha posto il fisico prima ed il tecnico dopo nella necessità di servirsi sempre più e meglio delle leggi statistico-probabilistiche.

E, fra le varie tecniche, quella delle telecomunicazioni ha saputo servirsi di tali leggi in una maniera di portata veramente rivoluzionaria, in quanto tali nuovi concetti statistico-probabilistici sono stati assunti addirittura quale base teorica di sviluppo di alcune importanti questioni di fondo.

II) PROPRIETÀ STATISTICHE DELLE FUNZIONI D'INFORMAZIONI.

Nei circuiti interessati al trasporto delle informazioni sono presenti tensioni e correnti di cui non si può a priori conoscere il valore; esse risultano funzioni del tempo e si attribuisce loro il nome generico di « funzioni di informazioni ». Caratteristica fondamentale di queste funzioni è che la conoscenza dei loro valori fino ad un certo punto non consente la completa determinazione

del loro successivo andamento nel tempo proprio perché a questo andamento è legata la trasmissione dell'informazione per sua natura non conoscibile a priori.

Anche le funzioni di rumore possono sotto un certo aspetto essere considerate particolari funzioni d'informazione relative ai processi sconosciuti causa del rumore. Nonostante l'indeterminatezza che caratterizza le funzioni d'informazioni e di rumore esse godono però di proprietà generali che ne consentono uno studio quantitativo, basato su alcune loro importanti proprietà di carattere statistico.

Precisamente tali funzioni di tempo, che rientrano ovviamente nella categoria dei processi casuali, godono di alcune importanti proprietà proprie dei cosiddetti « processi casuali stazionari ». Tali proprietà fondamentali naturalmente di natura statistica sono le seguenti:

1) Stazionarietà.

Le proprietà statistiche sono indipendenti dall'origine dei tempi, cioè le proprietà statistiche risultano immutate per una traslazione della funzione rispetto al tempo.

2) Ergodicità.

La media temporale di un fenomeno coincide con la media statistica ad un certo istante se il periodo di osservazione per la media temporale è sufficientemente lungo.

Lo studio statistico delle funzioni d'informazioni e di rumore si basa appunto sulla ipotesi che esse soddisfino alle suddette proprietà. Diamo ora alcune definizioni di natura probabilistico-statistica riguardanti i processi casuali che ci interessano. Intanto per la proprietà ergodica suddetta osservare la tensione d'uscita di un ricevitore telefonico in assenza di conversazione per un tempo considerevolmente lungo equivale ad osservare ad uno stesso istante molti ricevitori in analoghe condizioni. Vedremo così che i valori della tensione assunti nel tempo non hanno una distribuzione uniforme, ma si accumulano di più intorno a certi valori, mentre la loro densità è più scarsa altrove. Ciò succede perché il fenomeno osservato obbedisce a determinate leggi del caso, tanto è vero che la variabile viene appunto detta *casuale*.

Allora si avrà una maggiore frequenza per alcuni valori, ed una minore od addirittura assenza per altri valori. Ciò viene rappresentato mediante una opportuna funzione detta « *densità di probabilità* » tale che il suo integrale fra due qualsiasi estremi ci dia la probabilità che la funzione casuale assuma un valore compreso fra tali estremi. Cioè:

$$n_{ab} = \int_{y_a}^{y_b} p(y) dy$$

ove n_{ab} = % di valori di y compresi fra y_a e y_b

Ciò premesso, passiamo ora a definire due particolari grandezze statistiche: la « densità spettrale » e la « funzione di correlazione » che veramente sintetizzano le proprietà statistiche della funzione di informazione ed in

(*) Dr. ing. ILIO CAPPETTI della Società Telefonica Tirrena.

base alle quali è possibile tenere conto delle trasformazioni statistiche operate dai vari circuiti sulle funzioni di informazioni stesse. Cominciamo dalla « densità spettrale ».

In analogia con quanto già è stato detto per la densità di probabilità la potenza specifica dovuta ad una funzione di informazione può pensarsi suddivisa fra le varie frequenze della sua banda B . Può allora essere concepita una funzione $\Phi(f)$ della frequenza, detta « densità spettrale » tale che sia

$$W \text{ (potenza specifica)} = \int_B \Phi(f) df$$

La funzione « densità spettrale » che così viene a definirsi, è una grandezza caratteristica del processo statistico, e quindi al pari del valore medio, del valore efficace, dei vari momenti probabilistici ecc. notone il valore fino ad un certo istante, esso risulta il medesimo anche per il futuro della funzione stessa. Oltre alla densità spettrale ha grande importanza per lo studio dei processi statistici delle comunicazioni la « funzione di correlazione ». Come intuibile fra due fenomeni statistici si dice che esiste « correlazione » quando al verificarsi delle modalità dell'uno, le analoghe dell'altro si dispongono in modi particolari. Evidentemente un legame di correlazione è molto più generale di uno analitico, in quanto lega fra di loro non gli effettivi valori delle funzioni ma le loro particolarità statistiche, che si sono supposte « stazionarie ». Si definisce appunto come *funzione di autocorrelazione* la funzione di τ definita come il *valore medio temporale* del prodotto di

$$f(t) \text{ per } f(t + \tau)$$

e cioè

$$F(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T f(t) f(t + \tau) dt$$

Se alla funzione $f(t + \tau)$ ottenuta dalla $f(t)$ per la traslazione della quantità temporale τ , sostituisco un'altra funzione $g(t + \tau)$ ottengo la *funzione di mutua correlazione* fra $f(t)$ e $g(t)$ e cioè:

$$F'(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T f(t) g(t + \tau) dt$$

Esiste una relazione importante fra la funzione di autocorrelazione e la densità spettrale (T. di Wiener-Kintchine) che afferma che la densità spettrale è la trasformata di Fourier della funzione di autocorrelazione. Tale teorema, detto anche *T. della correlazione*, è uno strumento assai utile per le telecomunicazioni sia perchè consente di trasportare nel dominio delle frequenze, più familiare ed intuitivo per i tecnici, i problemi connessi alla correlazione, sia perchè permette il calcolo degli spettri partendo dalle determinazioni sperimentali della funzione di autocorrelazione, che sono più semplici.

Per la misura si ricorre a speciali apparati elettronici, detti « correlatori elettronici » fondati sulla tecnica delle macchine calcolatrici. Al M.I.T. ne è in funzione appunto uno di questo tipo. Basta per questo misurare vari addendi del tipo $f(t) f(t + \tau)$ e poi farne la media, ciò naturalmente per vari valori di τ . Nel tipo usato al M.I.T. si preleva una coppia di valori: $a = f(t)$; $b = f(t + \tau)$ e si genera un impulso rettangolare di ampiezza a e durata b ; ripetendo tale operazione ad intervalli costanti, il valore medio degli impulsi risultanti è un valore approssimato di $F(\tau)$.

Ripetendo tale operazione per vari τ si ottiene l'autocorrelata per punti.

La possibilità di misura agevole dell'autocorrelazione nei confronti della densità spettrale, dà un'importanza notevole alla funzione di correlazione, la cui conoscenza

del resto è perfettamente equivalente per lo studio dei processi statistici in conseguenza del T. di Wiener-Kintchine.

Stabilito che la funzione di correlazione individua le caratteristiche statistiche delle funzioni d'informazione, è possibile determinare come questa si trasforma, e cioè come si modificano le caratteristiche statistiche per azione dei vari circuiti: quadripoli, filtri, ecc.

Anzi questa teoria rivoluziona in effetti la progettazione di tali circuiti, impostandoli ora su basi statistiche, che sono le condizioni effettive di funzionamento e non su basi ideali come si fa secondo i convenzionali schemi classici.

Si possono così ricavare facili espressioni che permettono, nota la caratteristica del circuito e l'autocorrelazione della funzione, di ricavare quella d'uscita e la mutua correlazione fra entrata ed uscita.

Ma più importante è il problema inverso, e cioè quello di determinare le caratteristiche di un circuito che produca prefissate modificazioni di carattere statistico su una funzione di tempo. Si possono così dare nuovi criteri per il calcolo di filtri, adattatori, equalizzatori, amplificatori ecc., tutti basati sulle caratteristiche statistiche della funzione di informazione. Si sta sviluppando così tutta una nuova tecnica per il calcolo dei vari elementi circuitali usati nelle telecomunicazioni, basata appunto sull'indagine statistica relativa ai segnali e rumori su cui in fondo essi debbono agire. Tale studio si basa appunto sulle varie proprietà statistiche stazionarie delle funzioni di informazione e di rumore e in questo è di notevole ausilio la conoscenza della autocorrelazione. Altro settore in cui la funzione di correlazione si è mostrata utile è quello delle misure dell'interferenza fra due canali di un sistema multicanale: alimentando tutti i canali con sorgenti statisticamente indipendenti (ad es. rumori) le correlate mutue debbono essere tutte nulle; se fra due canali ciò non si verifica vuol dire che parte del rumore del primo si è infiltrato nel secondo; c'è stata cioè *interferenza*.

III) INDECISIONE ED ENTROPIA.

Finora abbiamo esaminato il solo *carattere statistico* delle funzioni d'informazione, e non ci siamo per nulla preoccupati dello scopo a cui servono, che è poi quello di trasportare un'informazione da un luogo all'altro. Considerando le cose sotto questo punto di vista si ha proprio la cosiddetta « *teoria delle informazioni* » che a sua volta può essere considerata come un ramo o l'essenza della *cibernetica*.

Questa disciplina da poco entrata a far parte delle nostre conoscenze, è una scienza nuova che tende appunto a coordinare in un unico schema tutti i vari elementi di conoscenza. Suo fondatore può essere considerato *Norbert Wiener*, che per primo la espose nel suo libro « *Cibernetica* » del 1948, per quanto la sua prima esposizione risalgia al 1942. La cibernetica, come si è detto, nella sua essenza è lo studio delle comunicazioni e più precisamente dell'informazione. Infatti l'informazione è alla base della nostra conoscenza e perciò una scienza che studi la natura sotto questo punto di vista ha tutte le possibilità di arrivare a riunire in un grande processo di sintesi tutti i vari fenomeni, anche i più diversi fra di loro. Questa disciplina introduce nello studio della teoria delle comunicazioni elettriche elementi probabilistici e statistici e ricorre a concetti nuovi quali la misura quantitativa dell'informazione. Ciò costituisce appunto la sua generalità ed universalità, per cui da uno studio ristretto quale quello delle comunicazioni elettriche può a ben ragione uscir fuori per pretendere di sintetizzare tutto il problema della scienza umana, che è poi problema di conoscenza.

Ma restiamo al nostro caso che è quello dello studio delle comunicazioni elettriche quali supporto per il tra-

sporto dei messaggi da uomo ad uomo. Come noto, la cibernetica è più generale in quanto considera ad esempio non solo il trasporto dei messaggi da uomo ad uomo, ma anche fra uomo e macchina, e fra macchina e macchina, creando così per il problema del controllo delle macchine una nuova scienza «degli automatismi» che è alla base della moderna automazione.

Vediamo quale è il processo logico dell'informazione. Essa si estrinseca operando un appropriato *ordine* in mezzo ad elementi che appunto in base all'ordine in cui vengono posti caso per caso forniscono l'appropriata informazione voluta. Viene così naturale il concepire l'informazione come il contrario del disordine. Ma il concetto di indifferenziazione è un concetto in Fisica già da molto tempo noto. Basta pensare al 2° principio della termodinamica ed al concetto di indifferenziazione, detto anche *entropia*. Questo principio, come noto, afferma che ogni sistema fisico abbandonato alle leggi del caso tende nel tempo sempre più a indifferenziarsi, o come si dice la sua entropia, che è la misura matematica del grado di indifferenziazione, tende nel tempo a crescere indefinitamente. È vero peraltro che esistono in natura altri fenomeni, quali la vita, in cui l'entropia decresce, cioè gli elementi tendono per un certo tempo a differenziarsi sempre più, ma poi in ultima analisi con la morte tale processo rientra nella normalità degli altri fenomeni fisici che sono tutti *entropici*; in contrapposto i fenomeni ad entropia decrescente si dicono «*sintropici*» secondo Fantappiè.

Anche il fornire un'informazione, come per i fenomeni vitali, significa diminuire l'entropia, cioè l'indifferenziazione, il disordine.

Infatti un gruppo di N caratteri di stampa, scelti a caso, è un sistema ben poco differenziato, ma se questi caratteri vengono scelti ed ordinati opportunamente fino a creare un discorso si ottiene una notevole «differenziazione» che è appunto l'informazione fornita da quel discorso. In tale caso l'entropia del sistema è diminuita perchè è stata fornita un'informazione, quale conseguenza dell'ordine effettuato fra gli elementi dati. Cerchiamo ora di definire che cosa si intende matematicamente per entropia prima di passare al suo concetto opposto di informazione. Se ho un sistema di N elementi uguali, posso fare $N!$ permutazioni diverse, ma questi $N!$ sistemi sono statisticamente indifferenti uno dell'altro e la possibilità di ciascuno di essi è appunto $1/N!$

Se tali elementi sono le particelle di un gas, sappiamo che ad ogni temperatura competono molte distribuzioni delle particelle, che sono però *statisticamente equivalenti*; solo allo zero assoluto avrei una sola distribuzione, quella in cui tutte le particelle sono immobili. Questo è lo stato ad entropia nulla. Per gli altri l'entropia vale

$$S = \sum f_i \log_n f_i$$

ove f_i è la probabilità dello stato i rispetto al totale. Essa misura il grado di indifferenziazione ed è appunto una relazione fra gli stati possibili e le loro possibilità.

Come sarebbe facilmente dimostrabile S risulta massima per f_i tutti uguali, il che esprime che allora si ha la massima indifferenziazione.

Vediamo ora che cosa si intenda per *quantità d'informazione*.

È ovvio che un segnale previsto da chi riceve dà informazione nulla e quindi un segnale darà maggiore informazione quanto meno probabilità si ha di riceverlo. Pertanto per definire l'*unità di informazione*, considero quella che effettua la scelta fra due possibili eventi ugualmente probabili e si dice «bit» (da binary digit). Se debbo scegliere fra 2^n oggetti, evidentemente ripeto n volte la scelta unitaria ed ho un'informazione n volte più grande. Risulta così ovvio definire l'informazione come

$$\log_2 2^n = n$$

e cioè come il logaritmo in base 2 del numero di eventi fra cui posso scegliere; generalmente se le possibilità non sono tutte ugualmente probabili, ogni volta che ne scelgo una fornisco l'informazione media

$$I = - \sum p_i \log p_i$$

ove p_i è la probabilità dello stato i . Si è così vista l'analisi sorprendente esistente fra entropia ed informazione; del resto ciò era *logico* in base a quanto detto prima. E tale espressione risulta massima come nel caso del T. di Boltzmann, per eventi tutti ugualmente probabili, ed infatti è logico che avrò massima informazione quando ad esempio fornisco un messaggio cifrato con le lettere dell'alfabeto, anzichè quando opero sulle stesse per scrivere una frase in italiano scritto. Anzi il problema del linguaggio è uno dei più interessanti casi di applicazione di questa teoria. Ad esempio lo Shannon del Bell System, studioso di questi problemi, ha considerato la quantità d'informazione fornita dall'inglese scritto. L'alfabeto di questa lingua ha 26 lettere. Da ciò risulta che l'entropia di ciascuna lettera, se tutte fossero ugualmente probabili, risulterebbe di 4,7 bit/lettera. Ma alcune lettere sono più frequenti delle altre ed in base a queste l'entropia scenderebbe già a 4,14 bit/lettera. Ma inoltre dopo una lettera non tutte si succedono con la stessa probabilità (probabilità dei digrammi) e già con queste considerazioni si scende a 3,56 bit/lettera.

Possono così ottenersi varie approssimazioni dell'inglese scritto che hanno appunto:

A) *ordine zero* - se si considerano tutte le lettere ugualmente probabili;

B) *ordine uno* - se le consideriamo con la loro frequenza effettiva;

C) *ordine due* - se consideriamo le probabilità dei vari digrammi;

D) *ordine tre* - se consideriamo la probabilità dei vari trigrammi (e si potrebbe seguitare);

E) *ordine I - ordine per le parole* - con la loro frequenza effettiva;

F) *ordine II - ordine per le parole* - accoppiamenti più probabili per varie parole e si potrebbe seguitare.

Per semplificare si può tenere conto delle probabilità di ricorrenza di ciascuna lettera, in funzione del numero N di quelle antecedenti conosciute (probabilità condizionale) arrivando così a calcolare l'entropia del linguaggio, che nell'inglese è di circa 1 bit/lettera contro i 4,7 bit/lettera del suo alfabeto. Ciò è dovuto alla forte correlazione che esiste nel linguaggio (ad esempio se dico la parola: *selez...* è facile completarla in *selezione*). Si distinguono così nel linguaggio correlazioni fonetiche e semantiche a cui vanno unite nella pratica quelle di carattere logico proprie del contenuto del discorso. La funzione che fornisce il messaggio può essere discreta o continua. Caso discreto ad esempio quello della telegrafia, delle telescriventi, delle lingue parlate, in radiotelefonica ecc. Limitandoci per ora al caso discreto consideriamo che nel caso più generale un sistema di trasmissione sarà costituito da una sorgente che invia il messaggio, da un trasduttore che lo manipola, o come si dice lo *codifica* per renderlo più atto alla sua trasmissione, da un canale che lo trasporta, da un trasduttore per codificare all'arrivo e da un ricevitore per la consegna del messaggio all'arrivo. Naturalmente in partenza la sorgente fornisce l'informazione che desidera trasmettere operando un particolare processo di scelta su simboli o gruppi di simboli e come si è detto l'incertezza media nella scelta dell'evento, ovvero l'informazione media inviata vale.

$$- \sum p_i \log p_i$$

che si dice l'*entropia del messaggio*.

Il trasmettitore e il ricevitore, come si è detto, codificano e decodificano l'informazione data dalla sorgente, mediante un trasduttore che tenga conto anche delle possibilità offerte dal canale di trasmissione, in quanto non si potrà caricare il canale di più di quello che non consenta la sua « capacità d'informazione ».

Infatti evidentemente nessuna codificazione potrà caricare su un canale più informazioni di quante ne possa portare. Posso però sempre trovare un codice tale che sia in grado di trasmettere l'informazione voluta col massimo rendimento e cioè con la massima velocità di trasmissione. È questo cioè un problema analogo a quello di trasferire col massimo rendimento un carico da un generatore ad un assorbitore che si risolve inserendo un opportuno adattatore d'impedenza; analogamente nel nostro caso si avrà massima efficienza inserendo un trasduttore capace di codificare in modo che la struttura statistica della sorgente vista dal canale sia tale da rendere massima l'entropia trasportata dal canale stesso.

Allora come si è detto la codificazione ha un compito principale economico, in quanto l'adeguamento del canale alla sorgente è essenzialmente un problema di costo. Si abbia ad esempio da scegliere fra 4 simboli $A B C D$ di probabilità rispettive

$$\frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}, \frac{1}{8}$$

Allora il valore medio della informazione per simbolo vale:

$$H_{simb} = - \sum p_i \log p_i = \frac{1}{2} \cdot 1 + \frac{1}{4} \cdot 2 + \frac{1}{8} \cdot 3 + \frac{1}{8} \cdot 3 = 1,75 \text{ bit/simb}$$

Se si vuole trasmettere il messaggio, usando un codice binario del tipo flip/flop, si potrebbero usare i primi quattro numeri binari

$$A = 00; B = 01; C = 10; D = 11$$

ma in questo modo occorrono 2 bit/simbolo; cioè più del valore teorico. Tale codificazione non è efficiente, un'altra potrebbe essere la

$$A = 0; B = 10; C = 110; D = 111$$

l'entropia/simbolo in questo caso vale in media:

$$\frac{1}{2} \cdot 1 + \frac{1}{4} \cdot 2 + \frac{1}{8} \cdot 3 + \frac{1}{8} \cdot 3 = 1,75 \text{ bit/simb}$$

cioè esattamente il valore teorico — cioè dal punto di vista informativo il codice prescelto è efficiente ed è il più semplice possibile.

Problemi simili si riscontrano in telefonia quando si debba progettare una numerazione univoca per una rete di centrali. Consideriamo il caso seguente: si debba progettare la numerazione a base decimale per tre centrali A, B, C del tipo passo a passo. Vedremo come convenga uno sviluppo di numerazione mista, anziché una tutta dello stesso numero di cifre, allorché quest'ultima è esuberante. Le tre centrali A, B, C abbiano rispettivamente capacità di 90, 10, 10 utenti ed i traffici in arrivo siano rispettivamente nei rapporti 0,8 - 0,1 - 0,1; ciò significa che la probabilità di un utente di essere chiamato è:

- 0,0089 per la centrale A , infatti $90 \times 0,0089 = 0,8$
- 0,01 per la centrale B , infatti $10 \times 0,01 = 0,1$
- 0,01 per la centrale C , infatti $10 \times 0,01 = 0,1$.

Allora il valore medio della informazione di selezione è:

$$90 \cdot 0,0089 \log_2 \frac{1}{0,0089} + 2 \cdot 10 \cdot 0,01 \log_2 \frac{1}{0,01} = 6,67 \text{ bit/selez. teorici}$$

Ne consegue, poichè una cifra a base 10 fornisce 3,32 bit (che rappresenta appunto l'informazione fornita dalla selezione di una sola cifra numerica) e quindi due ne darebbero 6,64 e tre 9,96, e poichè il valore teorico è compreso fra 6,64 e 9,96, che occorre una numerazione mista 2-3 cifre.

Facciamo A a due cifre e B, C a tre cifre, come in genere si fa. In questo caso di codificazione l'entropia media/selezione vale:

$$0,8 \cdot 6,64 + 0,2 \cdot 9,96 = 7,30 \text{ bit}$$

cioè poco più del valore teorico.

Se avessimo fatto uno sviluppo a tre cifre per tutte e tre le centrali si sarebbe ottenuto:

$$0,8 \cdot 9,96 + 0,2 \cdot 9,96 = 9,96 \text{ bit}$$

Si ha così un risparmio medio di $9,96 - 7,30 = 2,66$ bit che è circa dell'80 % di un gradino di selezione (ogni gradino di selezione dà infatti 3,32 bit) come era facilmente intuibile. Questo caso può facilmente estendersi a casi notevolmente più complessi, che si presentano in telefonia per codificazione di numerazioni, tassazioni, criteri, ecc.

Si è visto come la codificazione consenta di proporzionare le modalità di trasmissione alle caratteristiche del messaggio ed alla capacità di informazione del canale. Ma consideriamo ora le cose dal punto di vista del continuo.

Già da tempo lo Hartley (1928) aveva messo in relazione il contenuto di informazioni di un messaggio con la banda di frequenza e la sua durata. A lui è infatti dovuta la legge fondamentale delle telecomunicazioni (legge di Hartley) che stabilisce appunto che la quantità di informazioni che può essere trasmessa con un sistema di comunicazioni è proporzionale al prodotto della larghezza di banda B trasmissibile e del tempo di trasmissione T . Per poter perfezionare questa legge occorre un elemento, che si è rivelato fondamentale: il rumore. L'introduzione del rumore nello studio delle comunicazioni accanto alla banda e al tempo di trasmissione è avvenuta appunto per opera dei già citati Wiener e Shannon. Essi hanno precisato il coefficiente di proporzionalità della legge di Hartley in dipendenza del rapporto segnale/disturbo servendosi di metodi statistici. Tale nuova legge, detta di Hartley generalizzata, si esprime così:

$$Q = B T \log_2 \left[\frac{a}{a_r} (\gamma + 1) \right]$$

In tale formula a, a_r rappresentano il carattere statistico rispettivamente del segnale e del rumore, ed il loro rapporto è abbastanza alto (ma sempre < 1) nel solo caso in cui segnale e rumore abbiano lo stesso carattere statistico; negli altri casi più frequenti è generalmente molto basso (0,2 circa). Il coefficiente γ esprime il rapporto fra la potenza media del segnale e quella del rumore.

Osserviamo ora le conseguenze e deduzioni della legge di Hartley generalizzata: intanto si vede che il contenuto di informazioni di un segnale non cambia, modificando la durata del segnale o la banda di frequenza del segnale, purchè il loro prodotto resti costante. Questo del resto era già da tempo noto. Lo scambio fra durata e banda, ed es., viene normalmente compiuto nei sistemi telegrafici mediante registrazione dei messaggi su zona, ma può essere ottenuto, volendo, anche nei sistemi telefonici. Se debbo trasmettere una banda di 10kHz per

abbreviare il tempo di trasmissione posso registrare il messaggio su filo magnetico e poi trasmettere a velocità doppia; così facendo il tempo di trasmissione diventa la metà, ma raddoppia la banda trasmessa; in ricezione poi adopero il processo inverso. Se poi voglio ridurre la banda, faccio inversamente girare il filo a velocità inferiore a quella di registrazione. Non è escluso perciò che si possa fare scambi fra durata e banda mediante dispositivi di accumulazione del tipo delle « memorie » usate nelle macchine calcolatrici. Lasciando inalterata la durata di trasmissione posso ottenere la stessa quantità d'informazione elevando la banda di frequenza pur mantenendo piccolo il rapporto fra la potenza del segnale e quella del rumore, e viceversa tenere bassa la banda pur di elevare convenientemente il detto rapporto. Quest'ultimo criterio, inattuabile coi normali sistemi telefonici, risulta possibile realizzando metodi di modulazione studiati appositamente del tipo a quantizzazione del segnale che permettono appunto di ridurre la banda e di aumentare contemporaneamente il rapporto segnale/disturbo.

Ma in pratica tali metodi sono eccessivamente complicati, molto più semplice è il metodo inverso che consiste nell'aumentare la banda di frequenza riducendo il rapporto segnale/disturbo. Rientrano fra questi i sistemi di modulazione ad impulsi e di frequenza che sono appunto oggi i mezzi tecnici più atti a migliorare l'efficienza della trasmissione a spese di un aumento della larghezza di banda. Nei sistemi a modulazione impulsiva, e fra questi il metodo P.C.M., si ha il massimo scambio fra B , γ e a/a_r , appunto perchè in tal caso il segnale ha carattere statistico assai più prossimo a quello del rumore che in tutti gli altri casi. Lo stesso succede nei sistemi d'amplificazione « compandor » o a dinamica compressa nei quali risulta appunto accresciuto il rapporto statistico e quello di potenza fra segnale e rumore. Non si è però finora tenuto conto della correlazione e del ruolo ch'essa sostiene in una trasmissione. In un canale di trasmissione il rumore ha correlazione scarsa, mentre il messaggio ha sempre una abbastanza sentita correlazione. Naturalmente il grado di correlazione è tanto maggiore quanto più sicura è la previsione del segnale futuro sulla base di quelli precedenti; la differenza fra il valore futuro e quello prevedibile costituisce la sola parte utile del messaggio ai fini della informazione. Evidentemente si ha massima correlazione allorché i valori passati definiscono completamente i segnali futuri; in tale caso sarebbe però inutile trasmettere il segnale essendo già noto il messaggio. Si può affermare quindi che è inutile trasmettere l'aliquota correlata del messaggio e che questa ingombra inutilmente il canale. Ai fini di utilizzare al massimo la portata di un canale si può allora concepire di trasmettere il solo errore, cioè la differenza fra il segnale reale e quello che può essere previsto secondo un determinato schema di previsione. Dalla scelta di questo dipende l'entità dell'errore e quindi la residua occupazione del canale. In tale caso lo schema della trasmissione sarebbe il seguente: il messaggio verrà applicato in trasmissione ad un « decorrelatore » cioè ad un previsore che in base alla storia del segnale costruisca il previsto segnale futuro; questi verrà sottratto dal segnale futuro reale, e solo l'errore, cioè il *segnale decorrelato*, verrà trasmesso. In ricezione il messaggio viene « ricorrelato » aggiungendo l'errore al segnale uscente da un previsore identico a cui sia stato applicato il passato del segnale ricevuto. Generalmente è intuibile che l'errore sarà di ampiezza media inferiore a quella del segnale originario; e quindi la trasmissione del solo errore richiede una minore potenza. Del resto non accadrà mai in pratica che il messaggio utile sia costituito da una successione di segnali del tutto casuale, il che significherebbe ridursi ad un rumore. Esisterà invece sempre una correlazione statistica, e precisamente la correlazione fra passato e futuro sarà tanto più accentuata quanto più tenderà il messaggio al carattere continuo. Fra i mes-

saggi utili uno dei peggiori ai fini della prevedibilità è quello di una telescrivente eventualmente cifrata, ma anche in questo caso vi saranno segni più probabili ai quali posso assegnare segnali più semplici, ad esempio la cifra zero in codice binario per il segno più frequente e così via passando a numeri binari di cifre sempre maggiori man mano che si riduce la probabilità del segno. Così facendo non abbiamo tenuto conto della correlazione presente nel messaggio, e di questa se ne può tenere conto considerando la probabilità dei vari digrammi ecc., cioè le varie probabilità condizionate dopo una lettera o più lettere date. Si possono così ottenere, impiegando opportuni codici e codificatori, risparmi anche notevoli nella trasmissione. Una eccessiva decorrelazione del segnale fino a ridurlo quasi all'aspetto casuale di un rumore non è però pratica non solo per il costo, ma anche e soprattutto perchè il segnale troppo decorrelato è più sensibile ai disturbi e quindi occorrono canali invulnerabili al rumore del tipo a banda estesa (ad es. con modulazione ad impulsi), anche perchè in una trasmissione decorrelata un eventuale errore si propaga nel tempo, in quanto altera tutto il fenomeno della previsione. Occorre allora usare codici che permettano la scoperta ed eventualmente la correzione dell'errore, e ciò si ottiene per mezzo di un certo spreco d'informazione detta *ridondanza*. La ridondanza è fortemente presente anche in tutte le lingue con percentuali piuttosto elevate; ad esempio nell'inglese è del 50 % circa. Per ritornare al nostro caso un codice cosiffatto dovrà necessariamente contenere più cifre di quanto strettamente necessario per trasmettere l'informazione. Esistono diversi codici studiati a questo scopo. In caso di codice binario un eventuale errore altererà la « parità » di certe somme di gruppi di cifre nel senso che « I » diventa « O » o viceversa e quindi può essere sufficiente l'applicazione di un cosiddetto *criterio di parità* per accorgersi dell'esistenza dell'errore. Basta aggiungere « O » o « I » alla somma trasmessa di n cifre cosicché la ridondanza dovuta a tale criterio è $n/n-1$, ed è cioè poco gravosa nel solo caso di un codice con molte cifre. Tale criterio non permette però di svelare un errore doppio, ed inoltre non può correggere l'errore stesso. Per ottenere questo occorrono codici più complessi. Uno ad esempio potrebbe essere il seguente. Delle n cifre del simbolo m sono usate come cifre di codice, mentre le altre $n-m$ sono usate per rendere possibile l'applicazione di $n-m$ criteri di parità su altrettanti gruppi di cifre in modo anche che il numero binario costituito da « I » per il fallimento e « O » per il successo indichi la posizione dell'errore. E così via possono idearsi vari tipi di codici capaci di correggere errori doppi, tripli, ecc.

Un esempio semplice di codici di tale genere può essere il seguente:

Trasmetto blocchi di 7 cifre, di cui 4 sono simboli di messaggio, mentre gli altri 3 ridondanti costituiscono il codice di correzione. Se x_3, x_5, x_6, x_7 sono i simboli di e, x_4, x_2, x_1 quelli di correzione, questi sono scelti in modo che risultino pari le somme:

$$\begin{aligned} \alpha &= x_4 + x_5 + x_6 + x_7 \\ \beta &= x_2 + x_3 + x_6 + x_7 \\ \gamma &= x_1 + x_3 + x_5 + x_7 \end{aligned}$$

Se tali somme risultano *dispari* esiste l'errore ed i numeri binari α, β, γ indicano anche la posizione degli x_i non corretta.

IV) APPLICAZIONI DELLA TEORIA DELLE INFORMAZIONI.

Anche senza la conoscenza della teoria delle informazioni venivano da tempo ugualmente costruite apparecchiature che sapevano fare rapido uso delle informazioni, ma non si era in grado di calcolarne esattamente l'efficienza, non sapendo nè misurare l'informazione, nè calcolare la capacità dei canali di trasmissione.

Si è invece ora in grado di calcolare in modo semplice i *bit* d'informazione di qualunque messaggio, discreto o continuo, disturbato o no dal rumore, di calcolare la capacità di informazione di qualunque canale, ed inoltre, *fatto importante*, si è visto come sia sempre concettualmente possibile, se la quantità d'informazione fornita dalla sorgente non supera la capacità del canale, trovare il metodo per trasmettere il messaggio con una percentuale di errori piccola quanto si vuole, e ciò anche se il canale è fortemente disturbato. Queste idee nuove hanno avuto ed avranno sempre più in futuro una grande importanza nel campo della trasmissione dei segnali, della codificazione dei messaggi ed anche, *ed in modo fondamentale*, nella commutazione telefonica, che proprio, grazie alla teoria delle informazioni ed all'algebra logica, nonchè ai nuovi componenti logici trovati, quali i transistori e i diodi al germanio, tende sempre più a divenire una tecnica fondata su basi scientifiche, anzichè un insieme di dati empirici e personali come finora era stato. Questa teoria fa appunto prevedere come sia possibile risparmiare tempo e denaro, fondendo ancora più intimamente di adesso commutazione e trasmissione, non limitandosi semplicemente, come fatto nelle prime cosiddette centrali elettroniche a sostituire i vecchi elementi logici di natura elettromagnetica, con altri di natura elettronica. Sono insomma i concetti base della commutazione che vanno ora rivisti alla luce di queste nuove idee. In tale senso operano appunto le maggiori Case costruttrici telefoniche del mondo, ma i risultati tarderanno molto a venire applicati, data la circospetta prudenza con cui si opera nella sostituzione dei vecchi sistemi telefonici. Ciò è dovuto al loro elevato costo ed al difficile problema che verrebbe creato dalla coesistenza di sistemi diversi. Un settore però della commutazione è senz'altro fino da ora aperto a tali nuove interpretazioni, in quanto non crea difficili problemi di costo e di coesistenza, ed è quello della *preselezione* considerata specialmente nel campo delle reti rurali e vicinali. Altro campo in cui la teoria delle informazioni fa prevedere risultati sorprendenti è offerto dalla opportunità di ridurre le bande dei canali telefonici *ridondanti* ai fini a cui servono. Ma è nella televisione e nel telefono con trasmissione dell'immagine ove si prevede l'attuazione di metodi nuovi con forti risparmi, dato che i sistemi finora adottati sono eccessivamente ridondanti (trattasi di milioni di bit/sec.).

Intanto già si cominciano ad usare sistemi nuovi per aumentare l'informazione trasmessa su linee, e quindi il loro rendimento. Tali innovazioni sono state appunto suggerite dalla teoria delle informazioni, e fra esse possono citarsi le seguenti:

Giunzione P.C.M.

Vengono rilevate in rapida successione le voci di 24 canali telefonici per la loro trasmissione col metodo di modulazione ad impulsi di codice su una bicoppia. All'arrivo la rivelazione in sincronismo dei vari canali permette l'invio delle informazioni ai rispettivi destinatari. Tale tipo di giunzione che permette la trasmissione su una bicoppia di 24 conversazioni, anzichè 12, come avviene con i normali sistemi multicanale è ora in esperimento nel New Jersey. Se ne prevede l'estensione anche per i sistemi LL.DD., se i risultati saranno positivi.

Sistema TASI.

Questo sistema sfrutta le pause del discorso (che sono in media circa il 40 % del tempo di conversazione) per raddoppiare i circuiti in b.f. Ciò conviene solo per cavi esistenti la cui sostituzione od ampliamento è eccessivamente costoso, come nel caso dei cavi sottomarini transoceanici. È stato realizzato in America per raddoppiare

un caso transoceanico di 36 circuiti. I vari canali vengono ispezionati ben 2 000 volte al secondo, interrompendoli od attivandoli a seconda della necessità, in modo che i vari discorsi non risultino interrotti, al netto delle pause, per più di 1/10 di secondo. Così facendo, si è evitata la posa di un secondo cavo transoceanico del costo presunto di 70 miliardi contro 1,5 miliardi spesi per tale sistema di raddoppio.

Questi due semplici esempi fanno appena intravedere ciò che il futuro ci riserverà in questo settore della tecnica, ove la conoscenza della teoria delle informazioni ha ora allargato enormemente gli orizzonti del tecnico per le più varie e disparate applicazioni.

V) CONCLUSIONE.

Si è così visto come la statistica abbia assunto in questi ultimi anni un ruolo fondamentale per l'interpretazione corretta delle proprietà inerenti alla trasmissione ed alla formazione del messaggio, e quindi come occorra d'ora innanzi tenere conto di lei sia per il calcolo su basi statistiche dei vari elementi circuitali che per la progettazione dei più convenienti sistemi di trasmissione tenendo conto dello scopo a cui servono che è quello di trasmettere nel modo più economico e sicuro l'informazione.

Quest'ultimo risultato è stato ottenuto considerando l'essenza stessa della informazione che, come si è visto, è un fenomeno di scelta fra le varie possibilità offerte in base al calcolo delle probabilità. Ma l'importanza del calcolo delle probabilità e della statistica per le telecomunicazioni non si arresta qui. Basta solo accennare a come il calcolo delle probabilità si sia mostrato già da molto tempo lo strumento essenziale della teoria del traffico telefonico, e quindi indispensabile per la progettazione quantitativa delle centrali telefoniche.

Ed infine la statistica, intesa come semplice metodologia, si mostra utile anche per le grandi società di esercizio telefonico, per ricavare, come ovvio, i vari dati necessari per le previsioni di sviluppo dell'utenza, per la stesura dei vari piani regolatori, per il collaudo di grossi quantitativi di materiali minuti, e per tutti quei problemi di tecnica operativa ed organizzativa propri dei grandi complessi industriali. E non bisogna dimenticare l'importanza che si sta sempre più dando all'interpretazione statistica dei guasti per l'esercizio corretto delle centrali telefoniche secondo il metodo cosiddetto di Bell o da esso derivati.

Ma ora sto per concludere, ed a questo punto non posso fare a meno di palesarvi ciò che più mi ha colpito in questa moderna teoria delle informazioni, da me brevemente espostavi; ciò che più mi ha colpito è il suo profondo, intrinseco ed inimmaginabile legame con i più diversi e disparati settori della scienza, cosicchè in un mondo che si basa oggi essenzialmente sulla tecnica specializzata nel quale ognuno si disinteressa il più delle volte di quello che viene fatto in altri settori, perdendo così il gusto antico della ricerca del significato universale delle cose ed in una parola della sintesi della conoscenza, questo, dico, mi fa sperare che lo scienziato, il fisico sperimentale ed anche il tecnico, perchè no, possano ritornare quanto prima, a quelle dimensioni umane di umiltà che solo una più profonda conoscenza delle cose può dare, così da somigliare veramente a quello che Newton dice di se stesso dopo aver creato la teoria della gravitazione universale: « A me sembra di essere come un bambino che gioca sulla spiaggia del mare e si rallegra se di quando in quando trova un ciottolo più liscio degli altri o una conchiglia più bella delle altre, mentre il grande oceano della verità sta inesplorato dinanzi a lui ».

Manoscritto pervenuto il 24 luglio 1959.

I TRASDUTTORI MAGNETICI A CAMPI ORTOGONALI E LORO PARTICOLARI APPLICAZIONI

M. PEREZ DE VERA - S. RIZZO (*)

Vengono esaminate le caratteristiche di funzionamento di un trasduttore magnetico a campi ortogonali ed indicate le possibili applicazioni. In particolare è considerato il problema della costruzione di un tale trasduttore funzionante da trasformatore di tensione continua.

1) PREMESSE.

L'odierno sviluppo nel campo dell'elettrotecnica di dispositivi che utilizzano reattori saturabili ha suggerito la ripresa negli ultimi anni dello studio del comportamento di materiali ferromagnetici sottoposti contemporaneamente all'azione di due campi magnetici dovuti a forze magnetomotrici alternative e continue. L'indagine è stata anche sollecitata ed aiutata dai continui progressi fatti nel campo delle tecnologie dei materiali ferromagnetici con la creazione di nuove leghe che presentano particolari caratteristiche magnetiche.

Nei normali reattori saturabili, elementi costitutivi degli amplificatori magnetici, l'avvolgimento di controllo e l'avvolgimento di uscita, attraversati rispettivamente da corrente continua e alternata, sono disposti su un nucleo di forma toroidale. I campi magnetici prodotti dalle due forze magnetomotrici agiscono nella stessa direzione tangenziale. Tale disposizione ha lo svantaggio di avere una azione trasformatrice tra i due avvolgimenti, il che riduce l'efficienza dei trasduttori. Tale inconveniente può essere evitato se si riesce a disporre gli assi dei due avvolgimenti ortogonali tra loro, rendendo così nullo l'accoppiamento trasformatore [1, 2].

La magnetizzazione contemporanea di un nucleo con due campi magnetici agenti ortogonalmente fu studiata per prima da F. J. Beck e J. M. Kell che sperimentarono su provini di ferro dolce [3]. Rimandando agli articoli specifici [4, 5, 6] per maggiori particolari, si ricorda in questa sede che se un nucleo di materiale ferromagnetico viene sottoposto alla magnetizzazione contemporanea di due campi ortogonali continui, la componente dell'induzione lungo la direzione di uno dei due campi, di valore costante, varia al variare del campo agente ortogonalmente. Corrispondentemente i cicli d'isteresi statici, ottenuti riportando sulle ordinate la componente lungo la direzione del campo che è segnato sull'asse delle ascisse, subiscono una rotazione e una variazione di area al variare del campo ortogonale.

I due campi non devono essere necessariamente continui, perchè una rotazione del ciclo d'isteresi e una variazione dell'area si ha anche quando uno dei due campi è alternativo con valore massimo costante. Un aumento del campo ortogonale porta ad una diminuzione della componente dell'induzione e l'area del ciclo si riduce fino a che il ciclo può essere assimilato ad una retta.

Il fenomeno è fisicamente spiegabile. Se su di un nucleo ferromagnetico agisce un campo H_a alternativo di ampiezza costante ad esso corrisponde una determinata induzione B_a nella direzione del campo. Sovrapponendo un campo magnetico continuo H_c ortogonale alla dire-

zione del vettore induzione B_a considerato, si ha un campo risultante H_t la cui direzione si può ritenere ruotante al variare del campo H_c . L'ampiezza del campo H_t è ovviamente maggiore delle sue componenti e a questo campo corrisponderà nella sua direzione una maggiore magnetizzazione del materiale. Corrispondentemente si ha quindi una diminuzione della componente B_a dell'induzione nella direzione del campo H_a ed una diminuzione del relativo ciclo d'isteresi dinamico..

Se il campo H_c cresce notevolmente, il campo risultante H_t avrà una direzione quasi coincidente con quella di H_c , la componente B_a dell'induzione sarà praticamente nulla mentre il materiale risulterà saturato nella direzione del campo continuo.

La principale difficoltà che si presenta nel realizzare la magnetizzazione a campi ortogonali è quella di costruire nuclei adatti a tale magnetizzazione; infatti bisogna cercare di costruire nuclei che permettano lo svolgimento nel ferro di ambedue i circuiti magnetici relativi ai due flussi ortogonali, in modo da non creare forti coefficienti di smagnetizzazione di valori tali da annullare o notevolmente diminuire uno dei due campi. È necessario inoltre eliminare o ridurre gli effetti dovuti a correnti parassite indotte dalle variazioni di induzione nelle due direzioni usando materiali magnetici ad alta resistività.

In questa prima nota si sono messe in evidenza le caratteristiche di funzionamento di un trasduttore magnetico a campi ortogonali considerando i vantaggi che si realizzano e alcuni particolari applicazioni. In particolare si è indicata la possibilità di poter costruire un trasduttore a campi ortogonali funzionante da « trasformatore di tensione continua ». Tale realizzazione presenta notevoli vantaggi nei confronti di quella dei trasformatori, già esistenti [7, 8] a tensione continua costituiti da trasduttori a campi magnetici paralleli; tali vantaggi diventano veramente notevoli specialmente nel caso in cui il trasformatore debba presentare un basso valore del tempo di risposta. Come sarà mostrato è possibile costruire trasformatori di tensione continua a campi ortogonali aventi ambedue i circuiti magnetici svolgentesi completamente nel ferro, usando particolari nuclei di ferrite.

2) IL TRASDUTTORE A CAMPI ORTOGONALI.

Un trasduttore a campi ortogonali può essere realizzato in diversi modi, secondo la possibilità di poter avere ambedue i circuiti magnetici, dei due campi continuo ed alternato, costituiti da materiale ferromagnetico o meno. Nel caso in esame, in una prima fase del tutto sperimentale di costruzione, le linee di forza del campo magnetico alternativo si svolgono completamente nel ferro, mentre quelle del campo continuo soltanto per una parte. La fig. 1 indica lo schema semplificato del trasduttore realizzato. Un provino magnetico, costituito da lamierini a forma di corone circolari, è disposto nell'interno di un solenoide lungo. I lamierini del provino sono normali all'asse longitudinale del solenoide e il provino è perfettamente centrato e fermato in esso. Sul solenoide sono avvolte N_c spire alimentate da una tensione continua V_c . Sul provino sono avvolte a spirale, in modo da realizzare

(*) Prof ing. M. PEREZ DE VERA dell'Istituto Elettrotecnico dell'Università di Napoli. - Ing. S. RIZZO dell'Istituto Elettrotecnico dell'Università di Napoli.

un avvolgimento torico, N_a spire magnetizzanti alimentate da una rete a tensione sinoidale V_a attraverso una opportuna resistenza R_a di carico comprensiva della resistenza dell'avvolgimento stesso. Il campo magnetico creato dall'avvolgimento N_a lo chiameremo campo magnetico trasversale H_t e la corrispondente induzione nel provino induzione trasversale B_t .

Il campo magnetico continuo H_l creato dal solenoide agisce nella direzione longitudinale del solenoide e risulta quindi normale al campo magnetico trasversale.

Il funzionamento del complesso è particolarmente prevedibile. In assenza del campo continuo longitudinale, un determinato valore I_a della corrente alternata attraversa l'avvolgimento d'uscita creando un campo magnetico H_t a cui corrisponde nel provino un determinato valore B_t , supponiamo di saturazione, dell'induzione trasversale. Il valore di I_a è definito dalla relazione

$$(1) \quad I_a = V_a / Z_a = V_a / \sqrt{R_a^2 + (\omega L_a)^2}$$

essendo L_a il valore dell'induttanza delle N_a spire corrispondente alla data condizione di magnetizzazione del nucleo. Si trascura, come è lecito, la reattanza di dispersione delle spire.

Se si alimentano le N_c spire con un determinato valore I_c della corrente continua, al campo magnetico trasversale alternativo si somma un campo continuo longitudinale H_l che tende a magnetizzare longitudinalmente il provino stesso. L'effetto della presenza del campo H_l come si è precedentemente detto, è una variazione della componente trasversale dell'induzione B_t e quindi proporzionalmente dell'induttanza L_a . Corrispondentemente a questa diminuzione di L_a si ha quindi un incremento del valore della corrente d'uscita I_a secondo la relazione (1). La diminuzione della componente dell'induzione trasversale è accompagnata da quella dell'area del ciclo d'isteresi dinamico trasversale $B_t = f(H_t)$ del provino e da una variazione di forma e di fase della corrente d'uscita.

Aumentando ulteriormente il valore della corrente I_c , si ha un ulteriore decremento della B_t e un aumento di I_a la cui forma è quasi sinoidale. Il valore massimo della I_a si otterrà nelle condizioni in cui il campo continuo H_l è di valore tale da saturare longitudinalmente il provino, mentre la componente trasversale dell'induzione risulta quasi nulla. In tali condizioni l'induttanza del circuito di uscita assume il minimo valore e la corrente I_a , di forma sinoidale, raggiunge praticamente il valore di $I_a = V_a / R_a$. La corrente d'uscita è quindi una funzione indiretta della corrente di controllo continua.

In questa prima realizzazione sperimentale il provino magnetico costituente il trasduttore è costituito da lamierini da 0,35 mm di forma anulare di Mumetall di cui si era in possesso. Le dimensioni del provino sono risultate essere:

Altezza del provino $h = 16,1$ mm.

Spessore (raggio esterno - raggio interno) $s = 22,3$ mm.

Raggio medio $R_m = 33,4$ mm.

Sezione netta $S = 359$ mm².

Sul provino sono stati disposti due avvolgimenti, il primo, d'uscita, N_a di 385 spire e il secondo N_c , d'esplorazione, di 200 spire. L'avvolgimento N_c fa capo (vedi fig. 1) ad un voltmetro elettronico a valore massimo onde determinare il valore della componente dell'induzione trasversale.

Il solenoide è stato in una prima fase costruito di lunghezza notevole rispetto all'altezza h del provino e successivamente tale lunghezza è stata ridotta dopo aver controllato che si avesse sempre la perfetta ortogonalità dei due campi. Il solenoide usato per le misure ha le seguenti dimensioni geometriche: lunghezza $L = 180$ mm; diametro interno 95 mm. Su di esso sono state avvolte, in dodici strati, un totale di 6100 spire.

Si fa subito notare che il valore delle ampspire/m

del campo di controllo del trasduttore in esame risulta notevolmente elevato dato il forte valore del coefficiente di smagnetizzazione del provino per la sua altezza troppo ridotta rispetto al valore del raggio medio R_m . In realtà tale coefficiente può essere ridotto a valori veramente trascurabili se si realizza il nucleo con larghi nastri di materiale Fe-Ni avvolti a spirale intorno al cilindro ceramico di piccolo diametro in modo da ottenere un provino

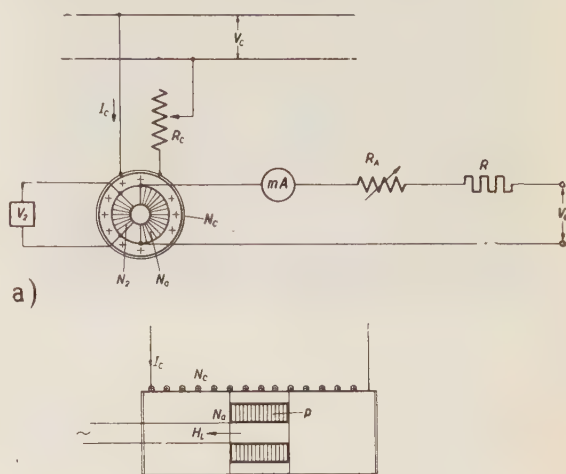


Fig. 1. - Schema di un trasduttore a campi magnetici ortogonali. N_c = spire avvolgimento di corrente continua; N_a = spire avvolgimento corrente alternata.

tubolare lungo e di piccolo spessore: purtroppo fino a questo momento gli Autori non sono riusciti ad ottenere un provino così realizzato dalle Case costruttrici Europee. D'altra parte, come sarà successivamente mostrato, il trasduttore può anche essere costruito, usando particolari nuclei di ferro, in modo da ottenere che ambedue i campi magnetici si svolgono quasi completamente nel ferro.

3) RISULTATI SPERIMENTALI.

Prima di riportare le curve di risposta $I_a = f(I_c)$ del trasduttore, si è ritenuto interessante mettere in evidenza le caratteristiche variazioni che subiscono i cicli dinamici trasversali $B_T = f(H_T)$ al variare della corrente di controllo, affinché più chiaro ed evidente risulti il funzionamento del trasduttore a campi ortogonali. Pertanto nelle figure 2, 3, 4 e 5, si sono riportate le fotografie degli oscillogrammi dei cicli dinamici trasversali al variare della corrente di controllo, per diversi valori della resistenza R_a di carico e della tensione V_a di alimentazione.

Per il rilievo dei cicli si è così proceduto: la caduta di tensione ai capi della resistenza R antinduttiva di 1 ohm (cfr. fig. 1) è stata applicata, opportunamente amplificata, alle placche deflettrici orizzontali di un tubo catodico; la tensione secondaria presa ai capi delle N_c spire esploratrici è stata applicata ad un circuito integratore e da questo alla coppia di placche verticali dello stesso tubo catodico. Nel proporzionamento del circuito integratore sono stati realizzati i noti accorgimenti per riprodurre i cicli con la massima fedeltà. L'oscillografo impiegato, la cui alimentazione è stata stabilizzata con uno stabilizzatore di tensione, è di fabbricazione Du Mont tipo 304 A.

Per far notare la variazione dei cicli sia nella forma che nella grandezza al variare del campo continuo di controllo, la registrazione dei cicli è stata effettuata su lastra fotografica 13×18 con successive esposizioni.

In una prima serie di misure l'avvolgimento d'uscita è stato alimentato con una tensione alternativa V_a di 19 V, $f = 50$ Hz, con resistenza R_a di carico di 200 ohm (fig. 2) e di 400 ohm (fig. 3). Il campo H_t è in ampspire/m.

Si consideri la fig. 2. Il ciclo dinamico indicato con la lettera *a*) è relativo al valore zero della corrente di controllo; il valore massimo della componente trasversale della induzione B_t è di 0,6 weber/m² valore prossimo a

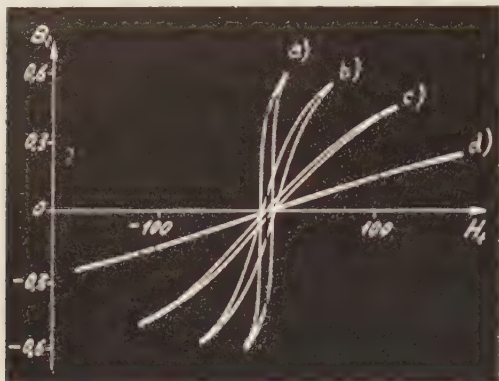


Fig. 2. — Fotografia, effettuata con successive esposizioni, degli oscillogrammi rappresentanti la variazione dei cicli dinamici trasversali $B_t = f(H_t)$ del trasduttore a campi ortogonali al variare della corrente continua I_c di controllo; valore della tensione alternata di alimentazione uguale a 19 volt;

$f = 50$ Hz; resistenza di carico $R_a = 200$ ohm;
ciclo a) $I_c = 0$; ciclo c) $I_c = 1,1$ A;
ciclo b) $I_c = 0,53$ A; ciclo d) $I_c = 2,3$ A.

quello di saturazione del Mumetall come si può notare d'altra parte dalla stessa forma del ciclo. Se si alimenta l'avvolgimento di controllo con una corrente di 0,53 A, il ciclo ruota assumendo la forma *b*) con un valore della componente trasversale della induzione ridotto rispetto

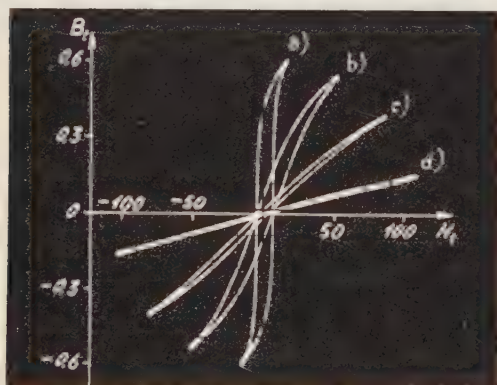


Fig. 3. — Fotografia, effettuata con successive esposizioni, degli oscillogrammi rappresentanti la variazione dei cicli dinamici trasversali $B_t = f(H_t)$ del trasduttore a campi ortogonali al variare della corrente continua I_c di controllo; valore della tensione alternata di alimentazione uguale a 19 volt; $f = 50$ Hz; resistenza di carico $R_a = 400$ ohm;

ciclo a) $I_c = 0$; ciclo c) $I_c = 1,1$ A;
ciclo b) $I_c = 0,53$ A; ciclo d) $I_c = 2,3$ A.

quello del ciclo *a*) di circa il 5 %. A questa diminuzione di B_t corrisponde, come si può notare dalla fig. 2, essendo V_a costante un aumento del campo H_t , ossia della corrente d'uscita I_a .

Assumendo la corrente di controllo il valore di 1,1 A, la componente B_t diminuisce ancora e il ciclo ruota portandosi nella posizione *c*), mentre risulta evidente la corrispondente riduzione dell'area. Per $I_c = 2,3$ A come si nota chiaramente dall'oscillogramma *d*) l'induzione trasversale assume un valore particolarmente basso e il ciclo è praticamente assimilabile ad una retta notevolmente inclinata sull'asse del campo trasversale.

Per mettere in evidenza l'effetto della resistenza R_a di carico nel trasduttore a campi ortogonali nella fig. 3 sono riportate le variazioni dei cicli dinamici trasversali per gli stessi valori della corrente di controllo e della V_a relativi alla fig. 2 ma per un valore della resistenza di carico di 400 ohm. Per tale valore di resistenza il ciclo *b*) risulta avere un valore massimo della B_t notevolmente inferiore a quello dell'analogo ciclo di fig. 2. Difatti per $R_a = 400$ ohm, passando da $I_c = 0$ a $I_c = 0,53$ A, la componente trasversale dell'induzione diminuisce di circa 11 %. Ciò si ha perchè diminuendo B_t per effetto della azione campo continuo ortogonale, a parità della V_a , si ha un aumento della corrente I_a d'uscita e quindi della caduta di tensione $R_a I_a$. A questa maggiore caduta di tensione corrisponde una diminuzione della tensione ai

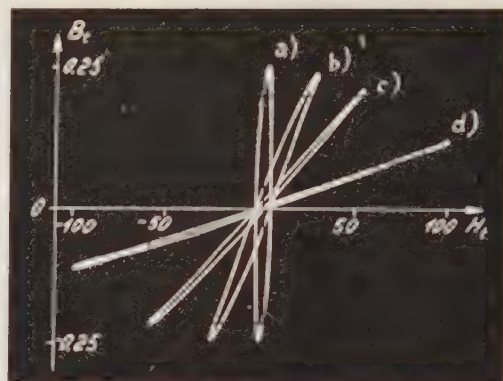


Fig. 4. — Fotografia, effettuata con successive esposizioni, degli oscillogrammi rappresentanti la variazione dei cicli dinamici trasversali $B_t = f(H_t)$ del trasduttore a campi ortogonali al variare della corrente continua I_c di controllo; valore della tensione di alimentazione uguale a 8 volt; $f = 50$ Hz; resistenza

carico $R_a = 200$ ohm;

ciclo a) $I_c = 0$; ciclo c) $I_c = 1,1$ A;
ciclo b) $I_c = 0,53$ A; ciclo d) $I_c = 2,3$ A.

capi dell'avvolgimento d'uscita e quindi la componente B_t diminuisce ulteriormente. La diminuzione della B_t sarà tanto maggiore quanto maggiore è la resistenza di carico. La resistenza di carico ha quindi un notevole effetto nel funzionamento del trasduttore a campi ortogonali, perchè una diminuzione di R_a a parità di tensione V_a rende il sistema poco sensibile per bassi valori della corrente di controllo.

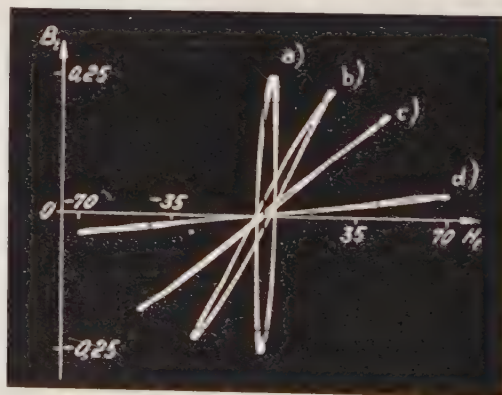


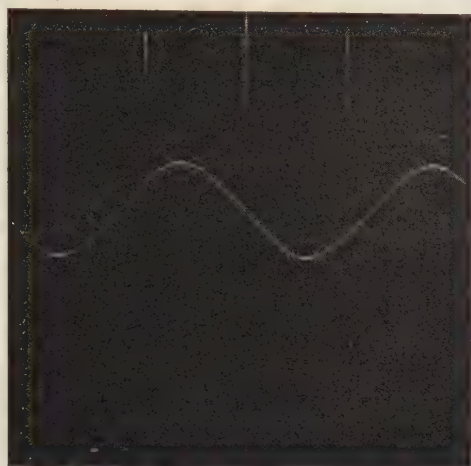
Fig. 5. — Fotografia, effettuata con successive esposizioni, degli oscillogrammi rappresentanti la variazione dei cicli dinamici trasversali $B_t = f(H_t)$ del trasduttore a campi ortogonali al variare della corrente continua I_c di controllo; valore della tensione alternata di alimentazione uguale a 8 volt; $f = 50$ Hz; resistenza di

carico $R_a = 300$ ohm;

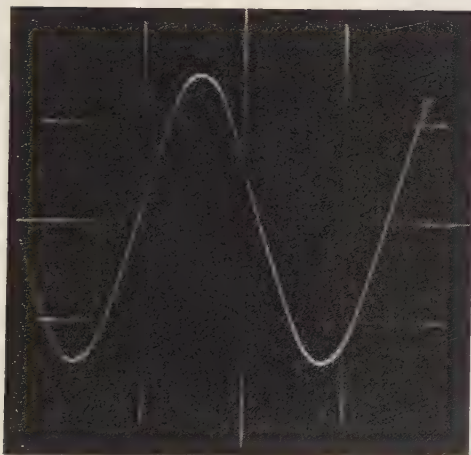
ciclo a) $I_c = 0$; ciclo c) $I_c = 1,1$ A;
ciclo b) $I_c = 0,53$ A; ciclo d) $I_c = 2,3$ A.

La forma della corrente I_a al variare di I_c non rimane costante, ma varia passando da quella deformata, relativamente ai cicli in cui il nucleo del trasduttore risulta trasversalmente saturato, alla forma sinoidale corrispondente ai cicli d).

Se si desidera realizzare in tale tipo di trasduttore che la corrente controllata I_a non vari assolutamente di forma al variare della corrente di controllo basta calcolare la tensione V_a , la resistenza di carico e il numero di spire dell'avvolgimento d'uscita in modo tale che, anche in assenza di corrente di controllo, il provino lavori nel tratto lineare della sua caratteristica magnetica trasversale.



a)



b)

Fig. 6. — Oscillogrammi della forma d'onda della corrente di uscita I_a del trasduttore a campi ortogonali al variare della corrente I_c di controllo

fotografia a) $I_c = 0,61 A$; fotografia b) $I_c = 1,9 A$.

Per mettere in evidenza quanto si è detto, nelle figure 4 e 5 si sono riportati gli oscillogrammi dei cicli per tensione $V_a = 8 V$ e R_a rispettivamente uguale a 200 e 300 ohm e nella fig. 6 gli oscillogrammi della forma d'onda della corrente I_a del trasduttore realizzato per $V_a = 8 V$ e $R_a = 300 ohm$, per due valori discosti della corrente di controllo. Dalla fig. 6 si può notare come la forma della corrente I_a rimanga praticamente sinoidale, lavorando il nucleo sempre sul tratto lineare della caratteristica magnetica al variare della corrente di controllo come si può anche osservare dalla fig. 5.

Risulta interessante, per particolari applicazioni del trasduttore, considerare la legge di variazione della com-

ponente trasversale dell'induzione in funzione della corrente di controllo e le curve di risposta $I_a = f(I_c)$. In fig. 7 si è pertanto riportata la variazione valore massimo della B_t al variare della corrente di controllo per $V_a = 8 V$ e per quattro valori della resistenza di carico e precisamente 150, 200, 250, 300 ohm. Da queste curve si vede come il valore massimo della componente B_t vari, per una estesa zona di variazione del campo di controllo, con legge quasi lineare.

In fig. 8 sono infine riportate le curve di risposta del trasduttore per gli stessi quattro valori della resistenza di carico. Esse sono state determinate per la tensione V_a di 8 V onde realizzare una forma della corrente d'uscita invariabile con la corrente di controllo. Dalle curve di risposta di fig. 8 risulta evidente l'esistenza di una estesa zona di linearità tra valore efficace della corrente d'uscita e valore della corrente di controllo, che per una resistenza di carico di 300 ohm è compresa tra il 15 % ed il 100 % di variazione della corrente di controllo. I valori limiti della corrente d'uscita I_a , al variare della R_a vengono raggiunti quasi per gli stessi valori della corrente I_c .

La particolarità di poter realizzare un trasduttore ma-

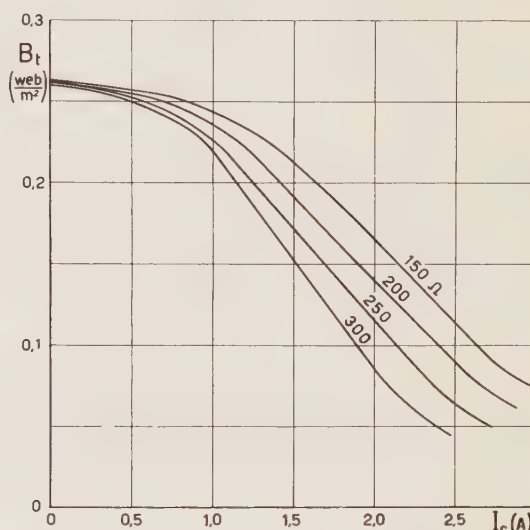


Fig. 7. — Variazione della componente trasversale massima B_t dell'induzione, del trasduttore a campi magnetici ortogonali, in funzione della corrente continua I_c di controllo per 4 valori della resistenza di carico (150, 200, 250, 300 ohm); $V_a = 8$ volt; $f = 50$ Hz.

gnetrico con gli avvolgimenti d'uscita e di controllo aventi gli assi tra loro a 90° , risulta notevolmente importante in alcune particolari applicazioni dei trasduttori, come per esempio negli amplificatori magnetici perchè non avendosi un accoppiamento trasformatorio tra i due avvolgimenti si può realizzare un più basso valore del tempo di risposta. Così può risultare vantaggioso utilizzare un trasduttore a campi ortogonali nei duplicatori magnetici di frequenza poichè, come è noto, in tali duplicatori la eliminazione delle azioni trasformatorie migliora nettamente le loro caratteristiche.

Un accoppiamento magnetico nullo tra avvolgimenti di un trasduttore a campi ortogonali non è però l'unica e principale caratteristica. Gli oscillogrammi e le curve di funzionamento precedentemente riportati mettono in chiara evidenza i notevoli vantaggi che il trasduttore presenta ed indicano una possibilità di svariate interessanti applicazioni.

Il trasduttore a campi ortogonali presenta la caratteristica di poter realizzare con unico nucleo magnetico la variazione dell'induttanza di un circuito attraversato da corrente alternata conservando immutata la forma della corrente. Se i parametri elettrici del trasduttore sono ben calcolati, come si è visto, si può ottenere inoltre che la

induttanza vari linearmente per un esteso campo di variazione della corrente di controllo. Il trasduttore può quindi ben essere usato come induttanza campione variabile in particolari ponti di misura, avendo anche la possibilità di realizzare, se vengono usati per il nucleo ma-

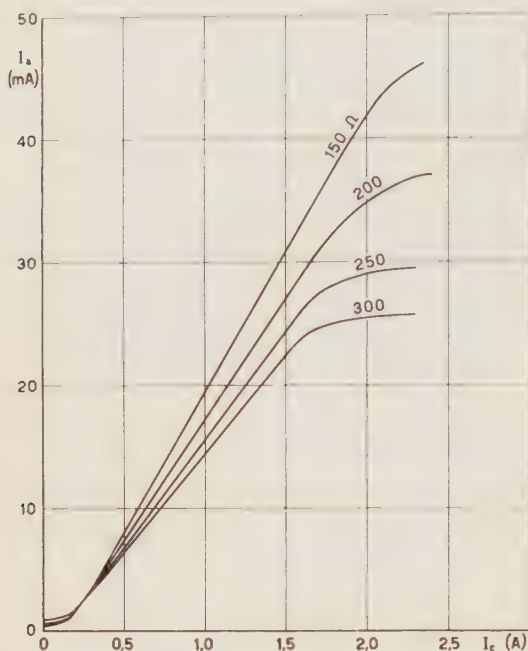


Fig. 8. - Variazione del valore efficace I_a della corrente di uscita, del trasduttore a campi magnetici ortogonali, in funzione della corrente continua I_c di controllo per 4 valori della resistenza di carico (150, 200, 250, 300 ohm); $V_a = 8$ volt; $f = 50$ Hz.

teriali magnetici speciali a basse perdite, un'induttanza variabile con trascurabile fattore di perdita. Per tali caratteristiche il trasduttore a campi ortogonali può anche essere utilizzato come induttanza variabile in circuiti LC per realizzare una variazione lineare della frequenza di risonanza.

Una interessantissima e vantaggiosa applicazione è però, a parere degli Autori, quella di usare trasduttori in esame come trasformatori di tensione continua, sfruttando la loro caratteristica di poter presentare un andamento lineare della variazione del valore efficace della corrente di uscita in funzione di quella di controllo. Sulle possibilità di tale realizzazione e sui vantaggi che ne derivano ci si desidera soffermare.

4) TRASFORMATORE DI TENSIONE CONTINUA A CAMPI ORTOGONALI.

La misura di una tensione continua viene normalmente effettuata con i diversi tipi di voltmetri (magneto-elettrici, elettrodinamici...), apparecchi sempre metallicamente connessi alla rete. In questi ultimi anni per realizzare la misura di una tensione continua con un apparecchio del tutto isolato dalla linea si sono studiati e costruiti su scala industriale i cosiddetti « trasformatori di tensione continua ».

Il principio di funzionamento di questi trasformatori si basa, come è noto, sostanzialmente sulla variazione dell'impedenza di un circuito, detto di uscita attraversato da corrente alternata ed avvolto su di un nucleo di materiale ferromagnetico speciale. La variazione dell'impedenza è ottenuta mediante una magnetizzazione supplementare fornita da un secondo avvolgimento detto di controllo disposto sul provino ed alimentato con una corrente continua proporzionale alla tensione V_c di rete.

Per rendere simmetrica la corrente di uscita nei due semiperiodi ed impedire la circolazione di armoniche di-

spari di corrente nel circuito di controllo (trasformatrice accoppiato con quello di uscita) è necessario l'uso di due nuclei magnetici simili con gli avvolgimenti di uscita disposti in serie concordante e quelli di continua in serie discordante. Rimandando agli articoli specifici [7, 8] sulle particolarità di funzionamento di tali trasformatori si ricorda in questa sede che se si usano materiali magnetici aventi ciclo di isteresi di forma assimilabile ad un rettangolo, il valore medio della corrente di uscita I_a risulta funzione lineare della corrente di controllo: pertanto dal valore di I_a si può risalire indirettamente a quello della tensione V_c . Il valore di I_a per un dato valore della corrente di controllo, è entro limiti discreti indipendente da eventuali variazioni della frequenza e della tensione della sorgente alternativa che alimenta il circuito di uscita. Se si desidera una estesa zona di proporzionalità lineare tra tensione continua e corrente alternata ed una forma della corrente alternata costante al variare di V_c , si rende necessario impedire la circolazione delle armoniche pari di corrente nel circuito di controllo. Ciò lo si ottiene inserendo in tale circuito una opportuna impedenza e realizzando in tale maniera una corrente di uscita di forma rettangolare [9]. Il funzionamento del trasformatore con circolazione impedita di armoniche pari è nota nella letteratura tecnica col nome di funzionamento a « magnetizzazione forzata ». In pratica non è facile bloccare le armoniche se il numero delle spire del circuito di controllo è elevato e non trascurabile è il valore del rapporto tra spire del circuito di controllo e spire del circuito di uscita e ciò porta ad una variazione della forma d'onda di I_a al variare di I_c ed in definitiva un maggiore errore di misura del trasformatore.

Il notevole numero di spire di controllo, necessario per non assorbire correnti relativamente elevate, e l'accoppiamento trasformatore tra gli avvolgimenti aumentano inoltre notevolmente il tempo di risposta di tali trasformatori e ciò per particolari misure rappresenta una rilevante limitazione.

Dalle curve di risposta, precedentemente riportate, di un trasduttore a campi magnetici ortogonali si rileva come con un opportuno valore della resistenza di carico si possa avere una notevole zona di proporzionalità lineare tra variazione di corrente di uscita e di controllo. Ciò indica la possibilità di poter realizzare un trasformatore di tensione continua con un unico trasduttore a campi ortogonali con la caratteristica di avere gli avvolgimenti non mutuamente accoppiati e quindi vantaggi non trascurabili rispetto a quello classico a magnetizzazione forzata.

L'elevato valore del campo di controllo che si nota dalle curve di risposta e che è dovuto all'effetto smagnetizzante del nucleo può, come si vedrà, essere ridotto a valori accettabili.

Per ottenere nel trasformatore a campi ortogonali una forma d'onda del tutto invariabile, basta calcolare la tensione alternativa V_a , il numero di spire dell'avvolgimento di uscita N_a e la resistenza di carico R_a in modo tale che in assenza della corrente di controllo il nucleo lavori in una condizione di magnetizzazione lontano dalla saturazione.

Il problema essenziale da risolvere per tale trasformatore è quello che se si vuole che il valore della corrente di uscita sia solo funzione della tensione continua V_c è necessario che la tensione V_a e la frequenza siano costanti. A questo riguardo bisogna distinguere se si desidera alimentare il circuito di uscita con una sorgente di tensione alternativa isolata o si vuol usufruire della normale rete industriale.

Nel primo caso il problema è superato se si utilizza un piccolo convertitore statico stabilizzato a transistori, oggi normalmente in commercio dalla potenza apparente di pochi VA.

Nel secondo caso in cui l'avvolgimento di uscita è alimentato dalla tensione di rete industriale (come in fig. 9)

la frequenza si può oggi ritenere poco variabile con il parallelo fra le diverse reti nazionali. D'altra parte si noti che ad una data variazione di frequenza corrisponde percentualmente una variazione ridotta dell'impedenza Z_a del circuito di uscita per effetto della resistenza di carico R_a . Il valore della I_a è difatti definito dalla relazione (1) essendo L_a il valore dell'induttanza delle N_a spire relativo ad una data condizione di magnetizzazione del pro-

valore massimo della corrente I_a , assorbita dal circuito di uscita, dovrà essere una percentuale di quello che attraversa la R_s onde mantenere un'ottima stabilizzazione del valore della tensione V_a .

Dalle curve di risposta dei trasduttori di fig. 8, si può notare come l'errore di un tale trasformatore, a frequenza costante, al variare della corrente di controllo e quindi della tensione continua dal 100 % del suo valore nominale

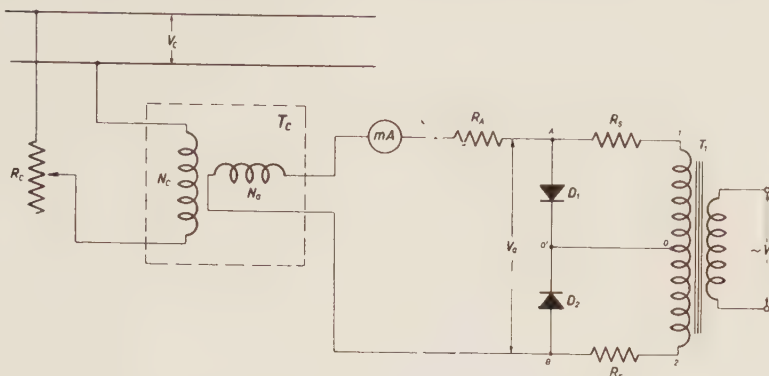


Fig. 9. - Schema elettrico di un trasduttore a campi ortogonali funzionante come trasformatore di misura di tensione continua.

vino. La variazione di Z_a con la frequenza è quindi tanto meno sensibile quanto minore è L_a . L'induttanza L_a varia difatti da un valore massimo per corrente di controllo nulla ad un minimo quasi nullo per corrente di controllo corrispondente al valore nominale massimo della tensione di rete continua, nel qual caso $Z_a \ll R_a$ e quindi la misura è indipendente dalle variazioni di frequenza.

In fig. 9 si è indicato lo schema elettrico di un trasformatore di tensione continua a campi ortogonali. Il circuito d'uscita è alimentato da una normale rete monofase a frequenza industriale ed il valore V_a della tensione è stabilizzato con l'ausilio di due diodi Zener indicati nella figura con le lettere D_1 e D_2 .

I diodi Zener, come è noto, sono particolari semiconduttori che lavorano nel tratto verticale della loro caratteristica dinamica negativa $I = f(V)$: nel funzionamento in tale tratto di caratteristica essi presentano una resistenza interna inversamente proporzionale alla corrente che li attraversa e ciò permette di ottenere che la tensione ai capi dei diodi resti praticamente costante per ampie variazioni della tensione che li alimenta attraverso una resistenza. Il valore della tensione in cui la caratteristica piega viene chiamata tensione di Zener. Quanto detto si comprende facilmente osservando le curve caratteristiche di un diodo Zener con tensione di Zener di 8 V riportato in fig. 10 e dalla quale si può notare quale alto grado di stabilizzazione si può ottenere da tali diodi, usati in apparecchiature elettroniche di controllo come tensioni di riferimento.

Funzionando ciascun diodo praticamente durante la semionda negativa della tensione di alimentazione se si desidera realizzare una tensione stabilizzata a perfetta simmetria speculare è preferibile usare due diodi Zener montati in opposizione come in fig. 9, nella quale i diodi sono alimentati dalla tensione di rete V_1 attraverso un opportuno trasformatore T_1 a presa centrale. A ciascun diodo è disposta in serie una resistenza R_s il cui valore è determinato in base ai limiti di potenza dei diodi stessi.

La tensione V_a uguale a V_{1-2} è di forma tanto più prossima a quella rettangolare quanto maggiore è il rapporto tra V_{1-0} e la tensione di Zener dei diodi usati. La tensione V_a risulta praticamente costante per ampie variazioni della tensione V_1 e può quindi essere usata come sorgente di alimentazione del circuito di uscita del trasduttore di tensione realizzato: è utile ricordare che il valore della resistenza R_a sarà calcolato in modo che il

al 15 %, sia contenuto entro il $\pm 0,5$. La variazione dell'errore per variazioni della tensione V_1 del ± 20 %, come risulta dalla fig. 10, è del tutto trascurabile.

In pratica volendo ottenere una costruzione economica del trasformatore bisogna contenere il valore della cor-

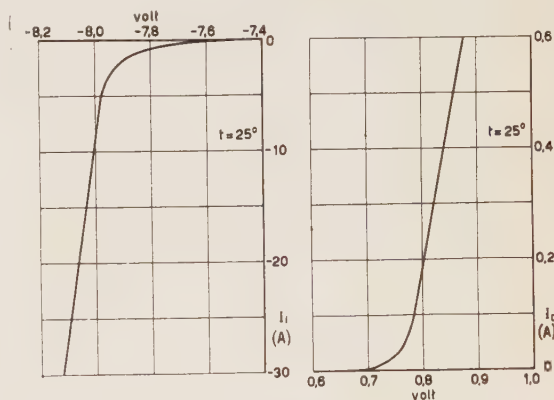


Fig. 10. - Curve caratteristiche di un diodo Zener.

rente di controllo a qualche decina di mA ed è pertanto necessario ridurre il valore del campo di controllo diminuendo o annullando l'effetto magnetizzante del provino magnetico costituente il trasduttore. Ciò può realizzarsi o aumentando la lunghezza del provino, fermo restando quella del solenoide, o facendo agire ambedue i campi di controllo e di uscita in circuiti magnetici chiusi.

Il primo caso, di cui si è già precedentemente parlato, assume, notevole importanza quando si debba costruire un trasformatore per tensioni elevate poichè l'avere i due avvolgimenti non disposti sullo stesso nucleo permette di realizzare l'isolamento in maniera più semplice ed economica.

Nel secondo caso, che è il più interessante, bisogna realizzare i due avvolgimenti con gli assi tra di loro a 90° disposti su di un unico provino con i campi da essi prodotti agenti su circuiti magnetici chiusi. Ciò si può ottenere realizzando il provino con due nuclei toroidali di ferrite; ciascun nucleo è scanalato circonferenzialmente da un lato (fig. 11) e nelle scanalature affacciate viene

disposto l'avvolgimento d'uscita e quindi i due nuclei vanno serrati fra loro come indicato nella stessa figura in modo da costituire un unico nucleo su cui si avvolgono le spire di controllo: i campi magnetici creati dai due avvolgimenti sono normali e quasi trascurabile è l'effetto smagnetizzante. In una prossima nota verranno esposte

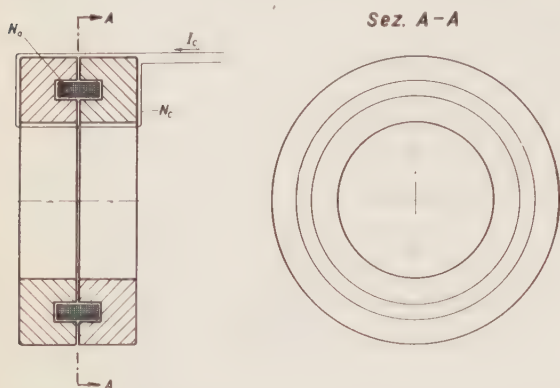


Fig. 11. - Sezioni di un trasduttore a campi ortogonali realizzato con due particolari nuclei di ferrite, in cui ambedue i campi magnetici si svolgono nel ferro.

le caratteristiche di un trasformatore di tensione (e di corrente continua) a campi ortogonali a circuiti magnetici chiusi con nuclei di ferrite a ciclo d'isteresi rettangolare.

CONCLUSIONI.

Un trasduttore magnetico oltre ad essere realizzato, come lo è normalmente, a campi magnetici paralleli, può anche essere costruito a campi ortogonali con particolari ed interessanti caratteristiche di funzionamento. In tal caso esso è costituito da un nucleo laminato ferromagnetico su cui agiscono due avvolgimenti, il primo detto di controllo alimentato da corrente continua ed il secondo ad esso ortogonale detto di uscita alimentato da una sorgente di tensione alternativa. I due avvolgimenti essendo fra loro ortogonali non risultano trasformatoricamente accoppiati.

In assenza di corrente di controllo, nel nucleo si ha un determinato valore della componente dell'induzione nella direzione del campo magnetico alternativo. Tale componente, come chiaramente mostrato, al crescere della corrente di controllo diminuisce ed a tale diminuzione corrisponde una variazione dell'induttanza del circuito di uscita e tale variazione risulta lineare per un notevole campo di regolazione della corrente di controllo. Se il trasduttore è ben calcolato si può ottenere che anche il valore efficace della corrente d'uscita vari linearmente mantenendosi immutata la forma d'onda.

Per tali caratteristiche il trasduttore a campi ortogonali può avere notevoli ed interessanti applicazioni. In particolare in questa sede si è indicata la costruzione di un tale trasduttore funzionante come trasformatore di tensione continua e se ne sono mostrati i vantaggi.

Gli Autori ringraziano vivamente il prof. ing. Guido Maione che li ha costantemente incoraggiati ed aiutati durante lo svolgimento di questo lavoro.

Manoscritto pervenuto il 6 luglio 1959.

BIBLIOGRAFIA

- [1] H. F. STORM: *Magnetic amplifiers* - John Wiley & Sons, 1955.
- [2] W. A. GEYGER: *Magnetic amplifiers circuits* - Mc Craw Hill 1954.
- [3] F. J. BECK e J. M. KELL: *Magnetization in perpendicularly superposed direct and alternating fields*, - « Journal of Applied Physics », New York - Vol. 19 - giugno 1948 pag. 551-552.
- [4] R. M. BOZORTH: *Ferromagnetism* - Van Nostrand, New York, 1951.
- [5] R. A. HEARTZ e H. BUELTEMAN: *The application of perpendicularly superposed magnetic fields* - « Transactions A.I.E.E. » - P. I - nov. 1955 - pagg. 655-659.
- [6] C. B. WAKEMAN e F. J. BECK: *Superposed magnetic fields in materials with rectangular hysteresis loops*, - « Transactions A.I.E.E. », P. I - nov. 1956 - pagg. 562-569.
- [7] H. F. STORM: *Series connected saturable reactor with control source of comparatively low impedance* - « Transaction A.I.E.E. » - P. II - 1950 - pagg. 756-765.
- [8] G. SAVASTANO e M. PEREZ DE VERA: *La misura dell'energia nelle reti a corrente continua con un contatore monofase ad induzione* - « L'Energia elettrica », vol. XXXIII - 1956, - pagg. 607-620.
- [9] H. F. STORM: *Series connected saturable reactor with control source of comparatively high impedance* - « Transaction A.I.E.E. » - P. II, - 1950 - pagg. 1299-1308.

LA TELEVISIONE NEL 1959

SERGIO BERTOLOTI (*)

Vengono brevemente illustrati due nuovi procedimenti tecnici realizzati per la prima volta nel 1959, riguardanti il primo la conversione di segnali televisivi secondo gli standard europei in quello americano e viceversa, il secondo un procedimento per la trasmissione attraverso i cavi transatlantici di brevi avvenimenti filmati.

Nel 1959 la tecnica televisiva ha compiuto un sensibile passo in avanti nella soluzione di due problemi che non erano finora ancora stati risolti in modo soddisfacente. Si tratta in particolare della messa a punto di dispositivi atti il primo a convertire immagini dello standard americano in immagini dei vari standard europei, il secondo a trasmettere attraverso l'Atlantico dei brevi avvenimenti filmati per uso televisivo per mezzo degli esistenti cavi telefonici. Non sarà inutile sottolineare come in tutti e due i casi si tratta di realizzazioni tendenti a rendere sempre minori i vincoli che le grandi distanze impongono.

sto sistema offre, rispetto alle riprese filmate, il duplice vantaggio di una migliore qualità quale oggi è possibile ottenere dai registratori magnetici e di una maggiore rapidità, in quanto viene eliminato il tempo occorrente allo sviluppo della pellicola (sempre che non si ricorra al sistema, peraltro assai costoso, di usare aerei appositamente attrezzati per lo sviluppo della pellicola durante il viaggio).

CONVERSIONE DI STANDARD DAI SISTEMI EUROPEI A QUELLO AMERICANO.

Il problema della conversione fra i vari standard europei e lo standard americano è completamente diverso e assai più arduo che non quello della conversione dei vari standard europei fra di loro, che è già stato risolto da tempo, come a tutti ben noto, attraverso ai sempre più perfetti e frequenti collegamenti in Eurovisione.

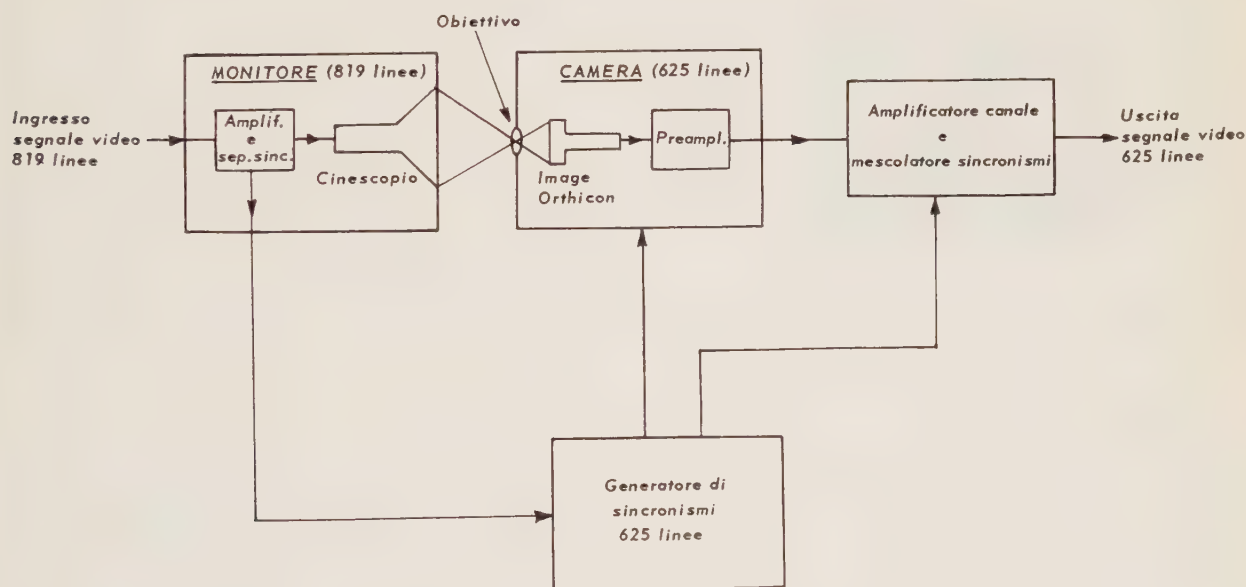


Fig. 1. — Convertitore di standard 819/625 linee, 50 trame. Schema di principio.

gono ancora alle comunicazioni televisive dirette intercontinentali. Avvenimenti di risonanza mondiale come le visite di Eisenhower in Europa e di Krusciov in America e il viaggio della Regina Elisabetta II in Canada, hanno senza dubbio contribuito a dare la spinta allo spirito di iniziativa dei tecnici per cercare di risolvere il problema del collegamento televisivo fra i due continenti, sia pure attraverso degli artifici, in attesa del giorno in cui potrà essere realizzato un collegamento diretto.

Con la conversione di standard diventa infatti possibile registrare in Europa un avvenimento in presa diretta su nastro magnetico già convertito nello standard americano e mandare il nastro per via aerea negli Stati Uniti dove può essere trasmesso immediatamente attraverso le varie reti statunitensi, con solo poche ore di ritardo rispetto alla ripresa in Europa, e viceversa. Que-

La difficoltà principale consiste nel fatto che, mentre i vari standard europei differiscono fra loro soltanto per il numero di linee che compongono le immagini (Francia 819, Inghilterra 405, altri Paesi europei 625 linee), lo standard americano differisce da quelli europei oltre che per il numero delle linee (525) anche per il numero di immagini trasmesse al secondo, che nello standard americano è di 30 immagini complete (ovvero 60 trame), mentre in tutti quelli europei è di 25 immagini al secondo (ovvero 50 trame).

Per rendere più chiara la differenza, occorre ricordare quale è il processo usualmente adoperato per effettuare la conversione: esso è in realtà il più semplice e ovvio che si possa concepire. Si riprende, cioè, con una camera da presa funzionante con lo standard prescelto, l'immagine ottica che si forma sullo schermo di un monitor di alta qualità funzionante secondo lo standard da convertire. Se i due standard hanno la stessa frequenza di im-

(*) Dr. ing. SERGIO BERTOLOTI, Direzione RAI, Roma.

magini al secondo è facile e possibile (vedi fig. 1) pilotare il generatore di sincronismi della camera da ripresa mediante i sincronismi di quadro del segnale da convertire, cosicchè sfruttando l'effetto combinato della persistenza di luminosità dei fosfori del tubo del monitor con la memoria (ovverosia la conservazione delle cariche elettriche sul target) del tubo di ripresa, diventano trascurabili gli effetti della non coincidenza di posizione sul quadro in ogni istante del punto luminoso tracciante del cinescopio e del pennello catodico di analisi nel tubo di ripresa.

In ogni caso queste differenze che sono sensibili soltanto durante la scansione della parte centrale di ogni immagine, ma sono nulle tanto all'inizio della prima riga quanto alla fine dell'ultima, si traducono in una trascurabile variazione di luminosità fra le varie righe di una immagine distribuita però in modo uniforme su tutte

ampiezza varia con la frequenza di 10 Hz e lo stesso andamento delle variazioni di luminosità derivanti dagli sfasamenti dianzi accennati fra punto tracciante e punto di analisi.

Usando questi impulsi per far variare il guadagno di uno stadio amplificatore col metodo usuale dei controlli automatici di guadagno, si riescono a correggere le variazioni di luminosità del segnale video in modo praticamente totale, cosicchè il « flicker » viene soppresso o quanto meno ridotto in proporzioni tali da non essere assolutamente più percettibile all'occhio.

Non vi è dubbio che con questo procedimento si aprano i più favorevoli e vasti orizzonti per un futuro scambio di programmi registrati su nastro magnetico fra Europa ed America e si pongano le premesse iniziali e fondamentali per considerare realisticamente la possibilità di stabilire un collegamento fisso diretto fra i due Continenti.

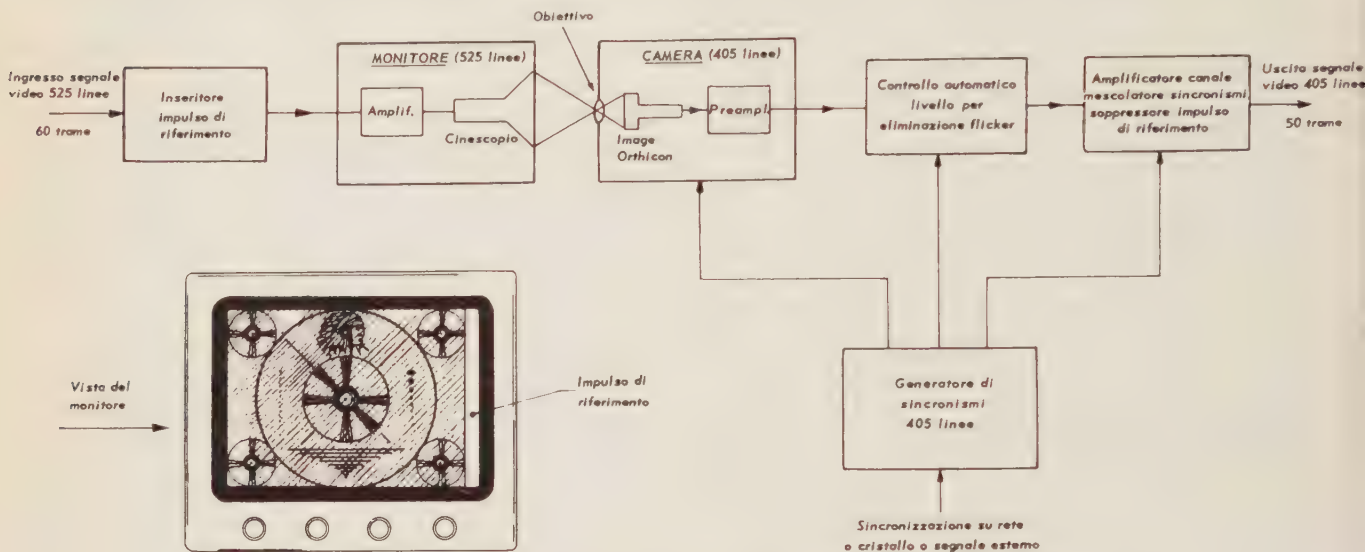


Fig. 2. — Convertitore di standard da 525 linee 60 trame a 405 linee 50 trame sistema BBC. Schema di principio.

le immagini successive e quindi praticamente impercettibile all'occhio.

Quando invece si devono convertire immagini aventi frequenza diversa di trama come nel caso nostro da 60 a 50, è chiaro che la coincidenza di posizione del punto tracciante e del pennello analizzatore si può verificare soltanto ciclicamente dopo un numero di trame corrispondenti a sei del segnale americano ed a 5 del segnale europeo, e cioè ogni $6/60 = 5/50 = 1/10$ di secondo. Ciò provoca delle variazioni di intensità del segnale uscente dalla camera che hanno la frequenza di 10 Hz e una forma d'onda, non sinusoidale, ma determinata sostanzialmente in ogni istante dall'effetto combinato della persistenza del fosforo del cinescopio e della memoria del tubo di ripresa.

Il segnale uscente dalla camera risulterà quindi inquinato dalla sovrapposizione di un segnale spurio che avendo la frequenza di 10 Hz provoca un effetto di abbarbagliamento (flicker) fastidiosissimo all'occhio.

I tecnici dei Laboratori di Kingswood Warren della BBC hanno risolto brillantemente il problema col dispositivo illustrato in fig. 2. Sull'immagine da convertire che si forma sul monitor viene introdotto con un semplice artificio elettronico un impulso ausiliario della durata di circa 2 microsecondi al termine di ogni linea, impulso che si traduce sull'immagine del monitor in una striscia verticale bianca di intensità costante all'estremità destra del quadro. Separando all'uscita della telecamera questi impulsi dal segnale video vero e proprio, si ottiene un segnale avente la frequenza di riga la cui

TRASMISSIONE SU CAVI TELEFONICI TRANSATLANTICI DI ATTUALITÀ FILMATE.

Per la prima volta, in occasione della visita della Regina Elisabetta II in Canada, i servizi tecnici della BBC in collaborazione con le compagnie telefoniche transatlantiche del Canada e degli Stati Uniti misero a punto un originale dispositivo che permise di trasmettere in America delle brevi scene riprese alla partenza della Regina dall'Inghilterra quasi nella stessa ora (grazie alla differenza dei fusi orari) in cui vi assistevano i telespettatori inglesi e di far vedere in Inghilterra scene del suo arrivo in America nella stessa giornata. La differenza è naturalmente connessa con la differenza di fuso orario che in un senso si sottrae e nell'altro si aggiunge al tempo occorrente per la trasmissione.

Il procedimento usato (vedi fig. 3) è sostanzialmente ispirato al principio della trasmissione delle fotografie per cavo, riducendo la trasmissione di un film ad una serie di trasmissioni di fotogrammi trasmessi con la massima cadenza consentita dalla banda di frequenza capace di transitare lungo il cavo. Un film della durata di un minuto viene trasmesso con uno speciale analizzatore a « flying spot » funzionante a velocità ridotta, in modo tale da trasmettere un fotogramma in 8 secondi.

All'arrivo i singoli fotogrammi vengono registrati su un altro film con un'apparecchiatura analoga a quella usata in trasmissione e il film che se ne ottiene viene quindi trasmesso per TV alla velocità normale. Per abbreviare ulteriormente il tempo di trasmissione, si ri-

corre all'artificio di trasmettere solo un fotogramma ogni due del film originale, mentre all'arrivo ogni fotogramma viene duplicato. Ne risulta un movimento leggermente a scatti che però non è fastidioso se il soggetto non si muove troppo rapidamente. In questo caso tuttavia è sempre possibile trasmettere tutti i 25 fotogrammi al secondo che compongono il film originale, ma in tal modo il tempo di trasmissione viene evidentemente raddoppiato.

nostante risulta ancora possibile trasmettere in Europa un avvenimento che si è svolto in America nella stessa giornata.

Ci è sembrato opportuno dare un breve cenno in questa rassegna annuale dei progressi compiuti dalla tecnica televisiva negli ultimi 12 mesi a queste due realizzazioni, sia perchè effettivamente non si sono registrate negli altri settori delle novità di rilievo se si eccettuano i normali perfezionamenti di dettaglio che ogni tecnica acqui-

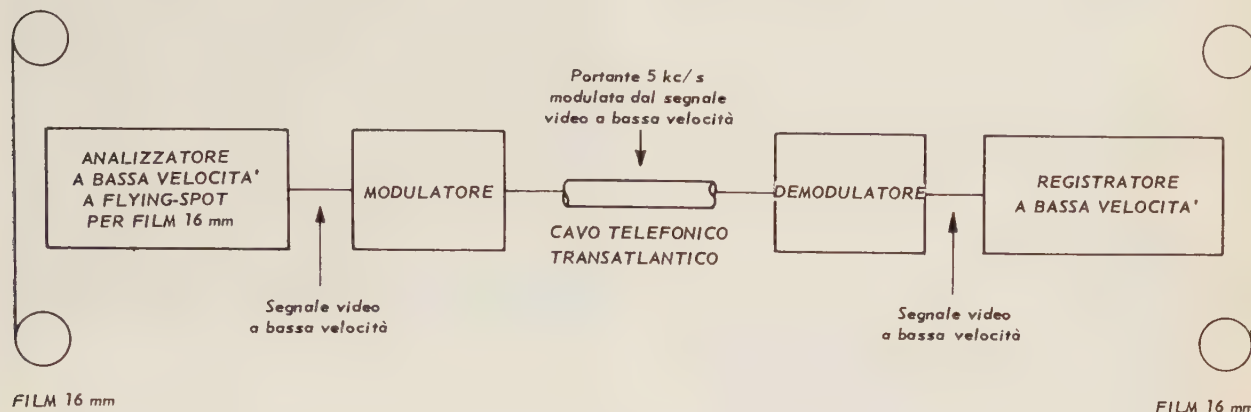


Fig. 3.

Trasmettendo col sistema dei fotogrammi alternati, la trasmissione di un film della durata di un minuto richiede circa 100 minuti, ossia poco più di un'ora e mezza. Considerando che altrettanto all'incirca è il tempo occorrente per lo sviluppo del film alla partenza e all'arrivo, il tempo necessario per la ripresa, la trasmissione e la proiezione sarà di circa 3 ore.

Si rende così possibile di trasmettere in America un avvenimento filmato della durata di un minuto con un'ora di anticipo secondo l'ora locale rispetto a quella in cui l'avvenimento è stato filmato in Europa. Naturalmente nella trasmissione in senso inverso la differenza fra i fusi orari gioca a sfavore della rapidità, ma cionon-

sta col tempo, sia e soprattutto perchè si tratta di procedimenti destinati ad avere una notevole influenza sui sempre più intensi e proficui scambi di informazioni fra i popoli.

Di particolare interesse poi è il fatto che essi siano stati perfezionati ed acquisiti in tempo utile in modo da consentire, in occasione delle prossime Olimpiadi di Roma del 1960, per la prima volta ai telespettatori americani di seguire sui teleschermi questa importantissima manifestazione sportiva.

Manoscritto pervenuto il 27 ottobre 1959.

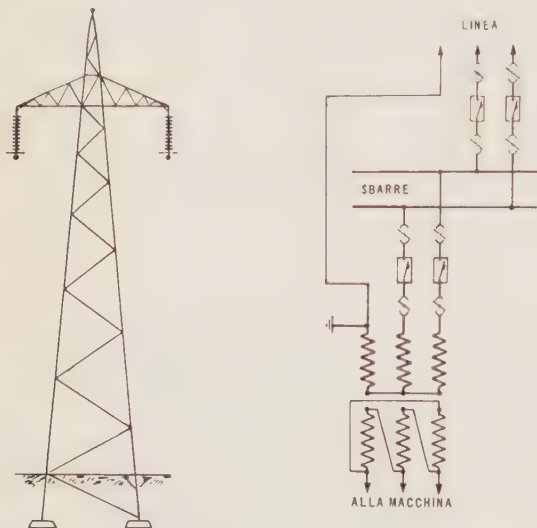
DOMANDE E RISPOSTE

Iniziamo questa nuova rubrica: essa è essenzialmente affidata alla collaborazione dei lettori che ci auguriamo sia attiva e continua.

Tutti possono inviare domande o risposte: la Redazione si riserva di pubblicare quelle che riterrà presentare un reale interesse.

Riceviamo:

Un sistema di trasmissione trifase, realizzato secondo lo schema rappresentato in figura, nel quale, cioè, il neutro



fosse isolato, ed una fase fosse messa a terra, offrirebbe i seguenti vantaggi:

1. - Stazioni di trasformazione e smistamento:

a) Collegamenti, interruttori e sezionatori, potrebbero essere bipolari anziché tripolari.

b) Eventuali collegamenti in cavo di A.T. fra trasformatori e sbarre, potrebbero essere effettuati con due cavi unipolari anziché con tre.

Come conseguenza di a) e b) si ridurrebbe di un terzo la spesa per le apparecchiature e collegamenti. Riduzione notevole si avrebbe anche per l'area della stazione, il che assumerebbe importanza rilevante laddove l'area stessa dev'essere ottenuta mediante sbancamenti in roccia, o mediante sistemazione di terreni poco stabili.

2. - Linee di trasporto. — Si avrebbe: l'abolizione del filo (o fili) di guardia, in quanto il conduttore superiore potrebbe farne le veci, ed una apprezzabile diminuzione dell'altezza dei sostegni. Tutto ciò comporterebbe una diminuzione degli sforzi trasmessi dalle funi ai sostegni e quindi ai basamenti, con sensibili economie di queste due strutture.

3. - Esercizio. — Le probabilità di fulminazioni sulla linea e sui trasformatori sarebbero ridotte di un terzo, in conseguenza del fatto che i conduttori isolati sono due in luogo di tre.

Ciò posto, si domanda quali inconvenienti si avrebbero se si adottasse lo schema di trasmissione prospettato.

E. Gigli

*

Un giovane studioso ci scrive:

Si abbia un anello metallico concatenato con flusso magnetico alternativo. Nell'anello si manifesterà, per induzione, una corrente elettrica I . Se chiamiamo R la resistenza totale dell'anello, che supponiamo uniformemente distribuita e I la corrente che vi circola ai capi diametralmente opposti, potremo misurare, con un voltmetro, avente una resistenza interna sufficientemente elevata tale da non turbare apprezzabilmente le condizioni di funzionamento presistenti nell'anello, una d.d.p. pari a $\frac{1}{2} RI$.

Naturalmente il valore della d.d.p. dovrà cambiare qualora si ripeta la misura per un arco di cerchio differente dalla semicirconferenza ed allora sorge qualche dubbio non facilmente spiegabile.

Supponiamo, ad esempio, di eseguire la misura su un arco corrispondente a un angolo di 90° . Il voltmetro dovrebbe indicare, per la legge di Ohm, una tensione $V = \frac{1}{4} RI$ ma se si considera tra gli stessi punti l'arco che insiste sull'angolo di 270° il risultato della misura dovrebbe essere: $V = \frac{3}{4} RI$.

Qual è la tensione che effettivamente misura il voltmetro e come si spiegano le differenti tensioni provenienti dal calcolo?

NOTIZIE E INFORMAZIONI

Il ponte radio Sydney-Canberra-Wollongong per il Ministero P. T. Australiano

Come è noto, dal Ministero P.T. Australiano, è stato assegnato alla Fabbrica Italiana Magneti Marelli, nell'agosto del 1959, la fornitura degli equipaggiamenti per la realizzazione di un collegamento in ponte radio a grande capacità per collegare la capitale del New South Wales (Sydney) alla capitale federale Canberra; è anche previsto un collegamento di diramazione da Sydney con il grosso centro industriale di Wollongong.

Il ponte radio di cui trattasi è destinato a costituire la principale arteria di comunicazione per traffico telefonico tra la capitale federale, attualmente in corso di rapidissima espansione, e la più ricca e popolosa città di tutto il continente australiano.

Sul percorso Sydney-Canberra-Melbourne è prevista la posa di un cavo coassiale a 6 tubi per cui, allorché tale cavo coassiale entrerà in servizio, il ponte radio servirà sia come alternativa ai circuiti in cavo, sia, e soprattutto — con i necessari ampliamenti — per la trasmissione dei programmi televisivi.

Caratteristiche del tracciato. — Il collegamento Sydney-Canberra-Wollongong, oltre alle 3 stazioni terminali di Redfern (Sydney), Red-Hill (Canberra) e Wollongong, utilizza



Fig. 1. — Tracciato del ponte radio Sydney-Canberra-Wollongong.

4 ripetitori intermedi e cioè Maddens Plains, M. Gibraltar, M. Gray, Gun Gun Trig; di queste stazioni la prima è equipaggiata come centro di diramazione, mentre le altre 3 sono equipaggiate come stazioni ripetitrici semplici.

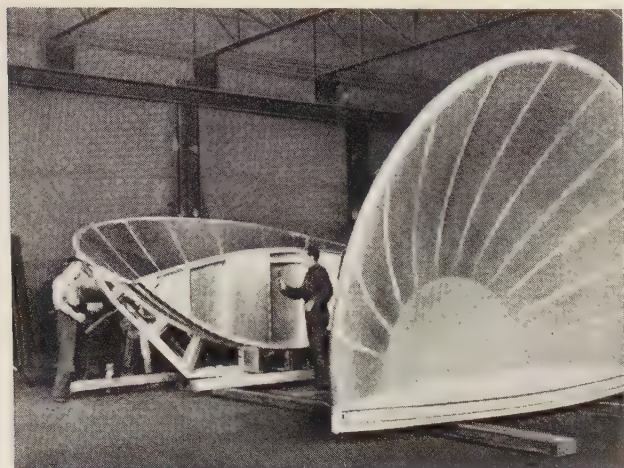


Fig. 2. — Prototipo di antenna a conchiglia protetta, in fase di finitura.

Le singole tratte variano tra la lunghezza massima di 71 km e la minima di 20 km per una lunghezza totale di 290 km, compresa la diramazione per Wollongong, e sono tutte in perfetta visibilità elettromagnetica.

Data l'estrema urgenza per la messa in servizio di questo collegamento, la cui attivazione è prevista per il 1° luglio 1960,



Fig. 3. — Il telaio rice-trasmittente a 4000 MHz del ponte radio tipo FV 14.

gli apparati saranno inizialmente alloggiati in fabbricati provvisori ad eccezione delle stazioni di Redfern, Madden's Plains e Wollongong per le quali saranno disponibili gli edifici definitivi.

Struttura del collegamento. — Il collegamento verrà realizzato con due fasci radio a microonde, della capacità di trasmissione di 960 canali telefonici o un programma televisivo, di cui uno di servizio e l'altro di riserva con commutazione automatica.

Su tutto il percorso il collegamento principale sarà affiancato da un collegamento ausiliario in UHF destinato sia a convogliare le comunicazioni di servizio sia a riportare nei centri di manutenzione le telesegnalazioni relative alle condizioni di funzionamento delle stazioni intermedie, che sono del tipo non presidiato.

Riassumiamo qui di seguito le principali caratteristiche degli apparati:

Ponte radio principale tipo FV 14:

- gamma RF di funzionamento $3\,800 \div 4\,200$ MHz;
- canalizzazione RF secondo le raccomandazioni CCIR;
- potenza RF di trasmissione ≥ 8 W con tubo a onde progressive;
- fattore di rumore del ricevitore < 13 dB;
- valore centrale della media frequenza 70 MHz;
- larghezza di banda complessiva del ricevitore 20 MHz misurata fra i punti a $-0,1$ dB;
- capacità di trasmissione: 960 canali o un programma televisivo con qualità corrispondente alle raccomandazioni del CCIR e del CMTT rispettivamente;
- tipo di antenna impiegata: antenna a conchiglia protetta completa di illuminatore a doppia polarizzazione per trasmissione e ricezione simultanea di sino a 3 fasci radio.

Ponte radio ausiliario:

- gamma RF di funzionamento: $420 \div 500$ MHz;
- capacità di trasmissione: 1 canale in banda fonica più 2 canali trasposti tra $4 \div 12$ kHz dei quali uno destinato alla trasmissione di telesegnali e telecomandi;
- tipo di antenna impiegato: ad elica.

Prestazioni dell'impianto. — Il collaudo in opera verrà effettuato secondo le modalità di misura con rumore bianco raccomandate dal CCIR. L'impianto, per la capacità massima di trasmissione prevista, dovrà fornire una qualità di trasmissione corrispondente ad un contributo di rumore riferito all'80 % del tempo pari a 3 pW/km.

Per quanto riguarda il servizio televisivo, il collegamento dovrà rispettare le raccomandazioni emanate dal CMTT (M.te Carlo ottobre 1958) valide per il circuito di riferimento per 2 500 km e riportate alla lunghezza del collegamento in questione.

* *

Completato l'impianto nucleare di Chapel Cross in Gran Bretagna. — L'UKAEA ha annunciato il mese scorso l'entrata in funzione del secondo e quarto reattore dell'impianto di Chapel Cross, in Scozia, per la produzione di energia elettrica e di plutonio. Il quarto reattore è entrato in funzione il 27 dicembre 1959 e se ne prevede l'esercizio a piena potenza, entro i primi mesi del corrente anno.

La capacità totale elettrica netta dei 4 reattori, raffreddati a gas e moderati a grafite, è di 140 MW.

Chapel Cross è il secondo degli impianti generatori di energia elettrica e plutonigeni ad entrare in funzione in Gran Bretagna. Il primo è — come è noto — Calder Hall, del quale Chapel Cross costituisce essenzialmente un duplicato. Il primo reattore di Calder Hall raggiunse la criticità nell'ottobre 1956, il quarto (ed ultimo) nel dicembre 1958.

* *

Critico il nocciolo dell'impianto nucleare belga. — Il nocciolo del reattore di potenza costruito per il Centre d'Étude de l'Énergie Nucléaire a Mol, in Belgio, ha raggiunto la criticità presso il centro sperimentale della Westinghouse di Waltz Mills (Pittsburgh).

La Westinghouse ha progettato e costruito il reattore di Mol, del tipo ad acqua pressurizzata e della potenza di 11,5 MWe. Dopo le prove di criticità, il nocciolo — costituito da elementi di combustibile di ossido di uranio a basso arricchimento e incamiciati con acciaio inossidabile — sarà smontato e quindi spedito in Belgio. La « criticità » a Mol è prevista per il settembre del 1960.

* *

Sull'esempio di analoghe organizzazioni già esistenti nei vari Stati d'Europa e d'America, alcuni industriali trasformatori plastici italiani, con l'appoggio dei maggiori produttori esteri, hanno recentemente istituito il **Centro Italiano Sviluppo e Applicazioni del Rame (CISAR)**, con sede a Milano, via Gaetano Negri 4. Con il CISAR, l'Italia viene ad essere ufficialmente rappresentata nel Comitato Internazionale dei Centri di Informazione del Rame, noto con la sigla CDDC (Copper Development Directors Committee).

Il CISAR promuove e favorisce la propaganda sull'uso del rame in ogni possibile applicazione, non soltanto mediante i comuni mezzi pubblicitari, ma anche mediante suggerimenti sul miglior uso del metallo rosso. Infatti, lo scambio di informazioni che il CISAR effettua con i vari Centri esteri permette di attuare su base internazionale anche un ampio servizio tecnico di consulenza e di assistenza a favore di tutti coloro, ditte o privati, che hanno problemi di lavorazione e di applicazione concernenti il rame e le sue leghe. Gli industriali ed i tecnici potranno perciò essere tenuti al corrente delle novità estere e tutti potranno ottenere l'adatta documentazione per meglio orientarsi nell'uso del rame.

È in preparazione una prima pubblicazione per illustrare i principali usi del rame nelle varie applicazioni; coloro che sono comunque interessati all'uso del rame e delle sue leghe potranno inviare il proprio nominativo ed indirizzo al CISAR, via Gaetano Negri 4.

Il CISAR offre i suoi servizi gratuitamente.

* *

La **Società Internazionale di Medicina Cibernetica**, costituita nel 1958 con la partecipazione di 19 Nazioni, ha tenuto a Napoli la prima Assemblea Generale nello scorso novembre.

Nel corso di essa sono stati eletti Presidente il prof. Aldo Masturzo dell'Università di Napoli, Vice Presidente il prof. Paul Nayrac dell'Università di Lille, Consiglieri i professori: N. Wiener, G. Asboe-Hansen, F. Nember, A. Gata, C. Coruzzi.

È stato stabilito di tenere nel 1960, a Napoli, un Simposio Internazionale di Medicina Cibernetica.

Il Consiglio Direttivo ha confermato la sede della Segreteria Generale a Napoli, via Roma 348.

* *

Le consuete **Journées de la Lumière**, che si svolgono annualmente in Francia, saranno tenute quest'anno dal 30 maggio al 2 giugno a Parigi, nel palazzo dell'UNESCO.

Sono previste varie sedute tecniche, con la presentazione di memorie di carattere tecnico e scientifico; saranno anche eseguite visite a impianti di illuminazione di particolare interesse.

Per informazioni rivolgersi alla Association Française de l'Eclairage (33 rue de Naples - Parigi 8°).

* *

Fondazione Francesco Somaini. — La « Fondazione Francesco Somaini » indice i seguenti Concorsi:

a) **Concorso al Premio Triennale per la Fisica Francesco Somaini** per il 1961 di L. 1.500.000 nette, da assegnarsi al concorrente che la Commissione giudicatrice giudicherà meritevole del premio per i risultati conseguiti nello studio della Fisica durante il triennio 1° luglio 1958 - 30 giugno 1961.

b) **Concorso alla Borsa Francesco Somaini per lo studio della Fisica** per il 1961 di L. 750.000 nette, da assegnarsi al concorrente che la Commissione giudicatrice giudicherà meritevole sia per i titoli, preparazione scientifica, lavori già svolti e risultati già conseguiti nella Fisica, sia anche per il vantaggio che gli studi, per i quali è richiesta la Borsa, possono portare allo sviluppo della Fisica in Italia.

Ad entrambi i Concorsi possono prendere parte singolarmente i cittadini d'ambo i sessi italiani e svizzeri del Canton Ticino purché di stirpe italiana.

La domanda, i documenti, i lavori, ecc., presentati dai singoli concorrenti dovranno pervenire, tra il 1° gennaio e le ore 12 del 1° luglio 1961, alla Commissione Amministratrice della « Fondazione Francesco Somaini » a Como presso il Tempio Voltiano.

LA NOSTRA INDUSTRIA

In questa rubrica vengono pubblicate a titolo assolutamente gratuito ed a giudizio esclusivo della Redazione notizie riguardanti la produzione e lo sviluppo delle industrie nazionali

Il grosso macchinario elettrico della Centrale di Quart della S. I. P.

DESCRIZIONE GENERALE.

La centrale in caverna di Quart è situata sulla destra della nazionale per Aosta nei pressi del bivio che conduce a S. Marcel all'altezza della preesistente centrale di Nus.

Nella centrale è installato un unico gruppo da 45.000 kVA di cui riportiamo più avanti le caratteristiche principali.

Alla centrale di Quart si accede dalla strada attraverso ad una galleria camionabile lunga circa 80 m sulla volta della quale sono sistemate le sbarre a 10 kV che escono dalla macchina per raggiungere, attraverso ad una piccola galleria che sottopassa la strada nazionale, il piazzale della sottostazione all'aperto adiacente alla centrale di Nus.

Le sbarre 10 kV sul piazzale fanno capo ad una cabina in lamiera ove sono sistemati l'interruttore di macchina e l'interruttore per il cavo che alimenta direttamente dalle sbarre il trasformatore da 580 kVA - 10/0,380 kV per il gruppo di eccitazione e per i servizi essenziali della centrale.

Nella cabina sono pure sistemati i trasformatori di corrente e di tensione per le protezioni, per il parallelo e la misura.

Dall'uscita della cabina le sbarre attraverso un sezionatore sono collegate al trasformatore 6/10/246 kV, 10.000/45.000/55.000 kVA; di esso riportiamo più avanti le caratteristiche.

Il trasformatore, mediante cavi, è collegato con il primario 6 kV alla macchina di Nus, che avendo in centrale un altro trasformatore, può erogare indifferentemente sulla rete 70 (130) kV oppure sulla rete 220 kV.

Il trasformatore, oltre alle normali protezioni, è dotato di impianto antincendio ad acqua nebulizzata.

L'alta tensione del trasformatore è collegata direttamente attraverso interruttore e sezionatore alla linea 220 kV Châtillon-Avise.

Dalle sbarre 6 kV un cavo alimenta due trasformatori 3.000 kVA, 6/9 kV allacciati ad alcune linee in partenza a 9 kV.

La planimetria generale dell'impianto è rappresentata nelle figure 1 e 2.

Lo schema elettrico è rappresentato nella fig. 3.

SERVIZI.

Servizi ausiliari a corrente alternata.

Nella sala macchine della centrale di Quart, in apposito locale, è installato il trasformatore da 580 kVA. Il primario è allacciato direttamente alle sbarre 10 kV del montante di macchina attraverso l'interruttore, mentre il secondario alimenta, tramite un teleruttore bloccato

con quello dell'alimentazione di emergenza, le sbarre dei servizi ausiliari essenziali e cioè:

- gruppo di eccitazione;
- compressori;
- elettropompe del regolatore;
- elettropompa per l'olio dei supporti dell'alternatore;
- elettropompe per i supporti Michell delle turbine;
- pompe olio del regolatore automatico di tensione.

I servizi ausiliari generali sono alimentati dall'esterno con due trasformatori da 500 kVA collegati l'uno alle

sori a 30 kg/cm², con due serbatoi da 1 000 litri ciascuno. Successivamente l'aria è ridotta a 15 kg/cm² e accumulata in altri due serbatoi di capacità uguale ai precedenti a cui fanno capo, attraverso tubazioni in rame, i serbatoi dei vari interruttori.

QUADRI.

Nella centrale di Quart sono sistemati i quadri di macchine propriamente detti costituiti da:

- un quadro per la turbina, con tutti gli strumenti e

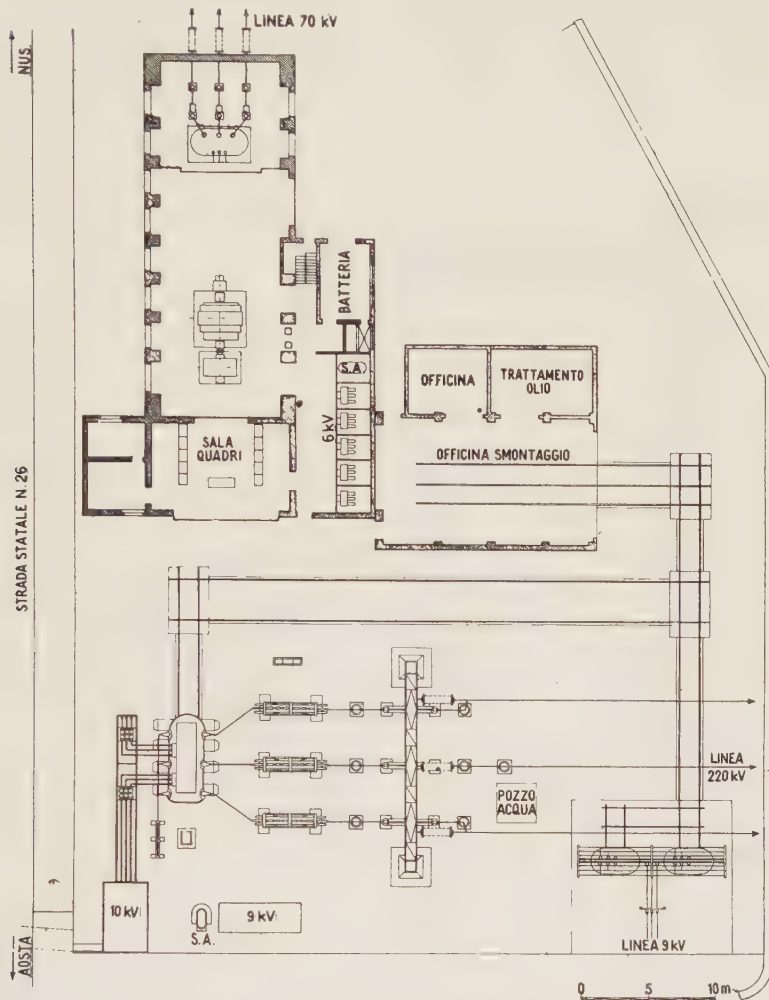


Fig. 1. — Centrale di Nus e piazzale all'aperto.

sbarre 6 kV della centrale di Nus e l'altro alla cabina 9 kV, allacciata alla rete locale.

I secondari a 380 V dei due trasformatori attraverso interruttori a grande capacità di rottura fanno capo ad un armadio in lamiera contenente le sbarre e le partenze per le varie utilizzazioni dell'energia sia per Nus che per Quart.

Dalle sbarre dei servizi generali parte una terna di cavi per l'alimentazione in caso di emergenza dei servizi essenziali di Quart.

Servizi ausiliari a corrente continua.

L'energia necessaria per i servizi ausiliari a corrente continua è fornita da una batteria di accumulatori al cadmio-nichel.

Un complesso raddrizzatore a secco provvede alla carica della batteria stessa.

Aria compressa.

L'impianto ad aria compressa necessario per il funzionamento degli interruttori è costituito da due compres-

le apparecchiature per la manovra delle valvole rotative e dei giunti per disaccoppiare le turbine dall'alternatore;

— un quadro a cinque pannelli contenente i relè di protezione, i relè di allarme, i manipolatori e gli strumenti di misura necessari per la marcia dell'alternatore;

— un quadro a tre pannelli contenente i complessi per la regolazione automatica della tensione e della disseccazione rapida.

Nella sala quadri, vera e propria, sistemata nella centrale di Nus sono ripetuti tutti gli strumenti e i manipolatori essenziali per il servizio a distanza della centrale di Quart.

La centrale è parzialmente presidiata e il servizio è previsto normalmente automatico.

AVVIAMENTO E ARRESTO.

L'avviamento può essere effettuato a mano sul posto, oppure automaticamente, sia sul posto che a distanza.

Nel primo caso si predispone il servizio desiderato, con due turbine accoppiate, oppure con una delle due tur-

bine, manovrando un apposito manipolatore sul quadro turbina.

La sequenza delle manovre, posto il commutatore di « scelta servizio » nella posizione « a mano » è eseguita dal personale.

Per l'avviamento automatico basta predisporre il manipolatore nella posizione di « automatico » e premere uno dei pulsanti « avviamento » che sono situati uno sul quadro macchine di Quart e uno sul quadro macchine di Nus.

Due pulsanti di emergenza, uno situato in centrale di Quart e uno situato all'esterno nella sala quadri di Nus, arrestano comunque la centrale mettendola in blocco.

Tutte le protezioni quando intervengono provocano una segnalazione ottica e una segnalazione acustica.

- potenza apparente resa ai morsetti in servizio continuo a $50 \pm 2,5$ Hz e a $\cos \varphi = 0,9$ (rit.): 45 000 kVA;
- tensione concatenata ai morsetti: $10\,000 \text{ V} \pm 8\%$;
- numero poli: 20;
- velocità nominale: 300 giri/min;
- velocità di fuga: 555 giri/min;
- PD^2 : 1 690 000 kgm^2 ;
- rapporto di corto circuito: 1,60;
- potenza capacitiva a $\cos \varphi = 0,0$ in sottoeccitazione a 8 000 V con corrente di eccitazione non inferiore al 10 % della corrente di eccitazione a vuoto riferita a 8 000 V: 40 000 kVA;
- potenza reattiva a $\cos \varphi = 0,0$ in sovraeccitazione a 10 000 V: 36 000 kVA;
- gruppo di eccitazione separato a 1 480 giri/min.

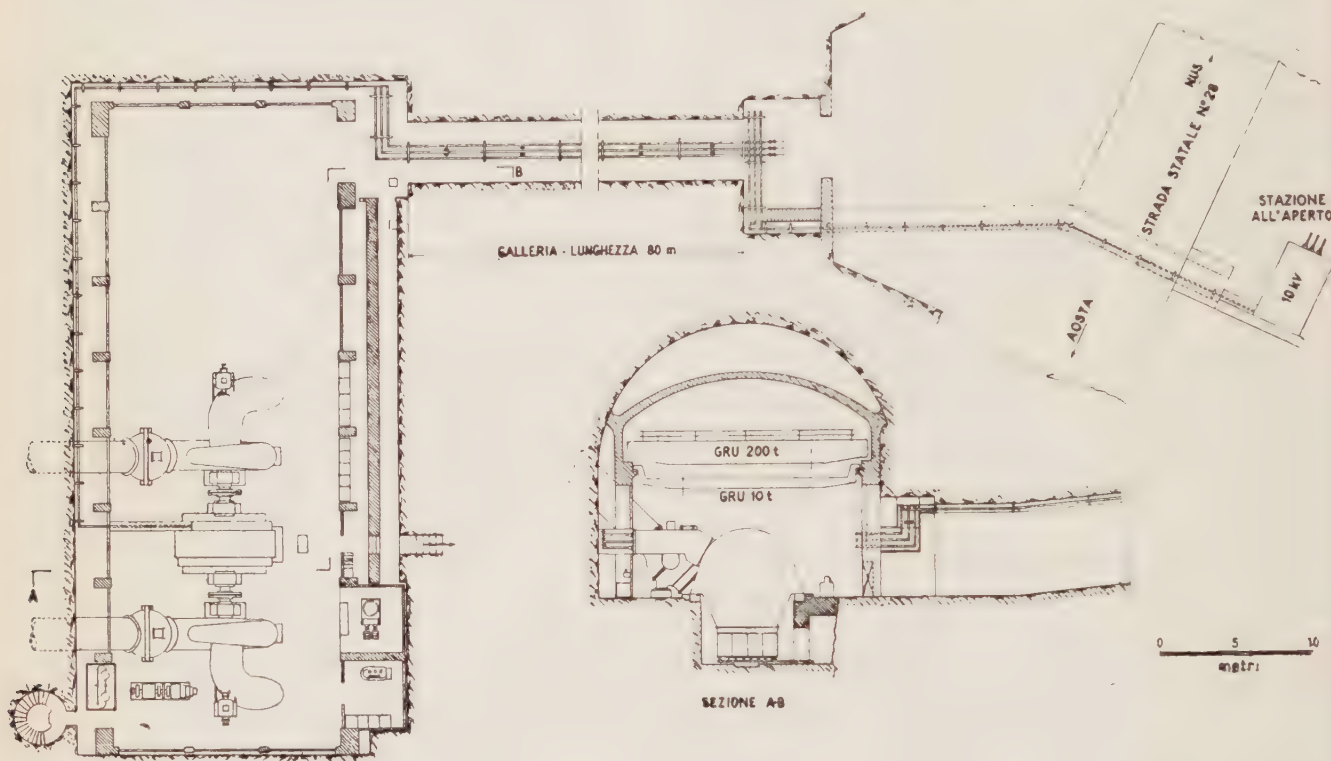


Fig. 2. — Centrale di Quart.

IMPIANTO DI TERRA.

Al disotto dei getti in calcestruzzo della centrale è stata posata una rete di piattina di rame 40×3 mm formata da maglie di 5×5 m circa.

Ai lati della galleria di accesso, sotto la platea, sono state posate due piattine collegate tra loro e alla struttura portante le sbarre sistemate nella volta della galleria.

Dette piattine collegano l'impianto di terra della centrale all'impianto di terra della stazione all'aperto, che pure è stato realizzato con rete a maglie e collegato a sua volta all'impianto di Nus.

Il centro stella del trasformatore ha un dispersore tubolare di rame del diametro di 40 mm forato ogni 200 mm, affondato per oltre 35 m, collegato all'impianto di terra generale.

ALTERNATORE.

Dati di funzionamento.

Nella centrale è installato un gruppo avente le seguenti caratteristiche:

— asse orizzontale, accoppiamento diretto a due turbine Francis, una per ogni estremità d'albero;

Influenza del rapporto di corto circuito sulla stabilità e sul dimensionamento della macchina.

In prima approssimazione, l'ampiezza delle oscillazioni per una variazione di carico espressa in percento del carico nominale è in relazione diretta con l'angolo di stabilità θ al carico nominale.

Riferendoci al diagramma di Blondel semplificato per le macchine sincrone, il seno dell'angolo θ risulta uguale al rapporto tra la forza elettromotrice trasversale e la tensione ai morsetti.

Essendo la forza elettromotrice trasversale uguale al prodotto della reattanza sincrona trasversale per la componente trasversale della corrente, si ha:

$$(1) \quad \sin \theta = \frac{x_q I_q}{V}$$

Siccome X_q è pressochè in rapporto costante con la reattanza sincrona longitudinale, che rappresenta l'inverso del rapporto di corto circuito espresso in valore relativo, si conclude che per un valore determinato della costante di accelerazione e dell'angolo di sfasamento interno ψ , l'angolo di stabilità θ e quindi l'ampiezza delle

oscillazioni in per cento del carico diminuisce quando il rapporto di corto circuito aumenta.

Per le piccole oscillazioni, trascurando l'effetto della gabbia, prendiamo in considerazione la nota formula della potenza sincronizzante che per un alternatore a poli salienti è:

$$(2) \quad P_s = \frac{E V}{z_d} \cos \theta + V^2 \cos 2 \theta \left[\frac{1}{z_q} - \frac{1}{z_d} \right]$$

ove z_q e z_d rappresentano le impedenze longitudinale e trasversale.

Ora, come abbiamo detto, queste ultime sono legate rigidamente al rapporto di corto circuito a meno dell'influenza della saturazione magnetica a vuoto. Così la potenza sincronizzante varia come il rapporto di corto circuito.

Per piccoli valori di θ l'espressione 2) diviene

$$(3) \quad P_{s0} = \frac{V^2}{z_q} + \frac{V(E - V)}{z_d}$$

con z_d e z_q inversamente proporzionali al rapporto di corto circuito.

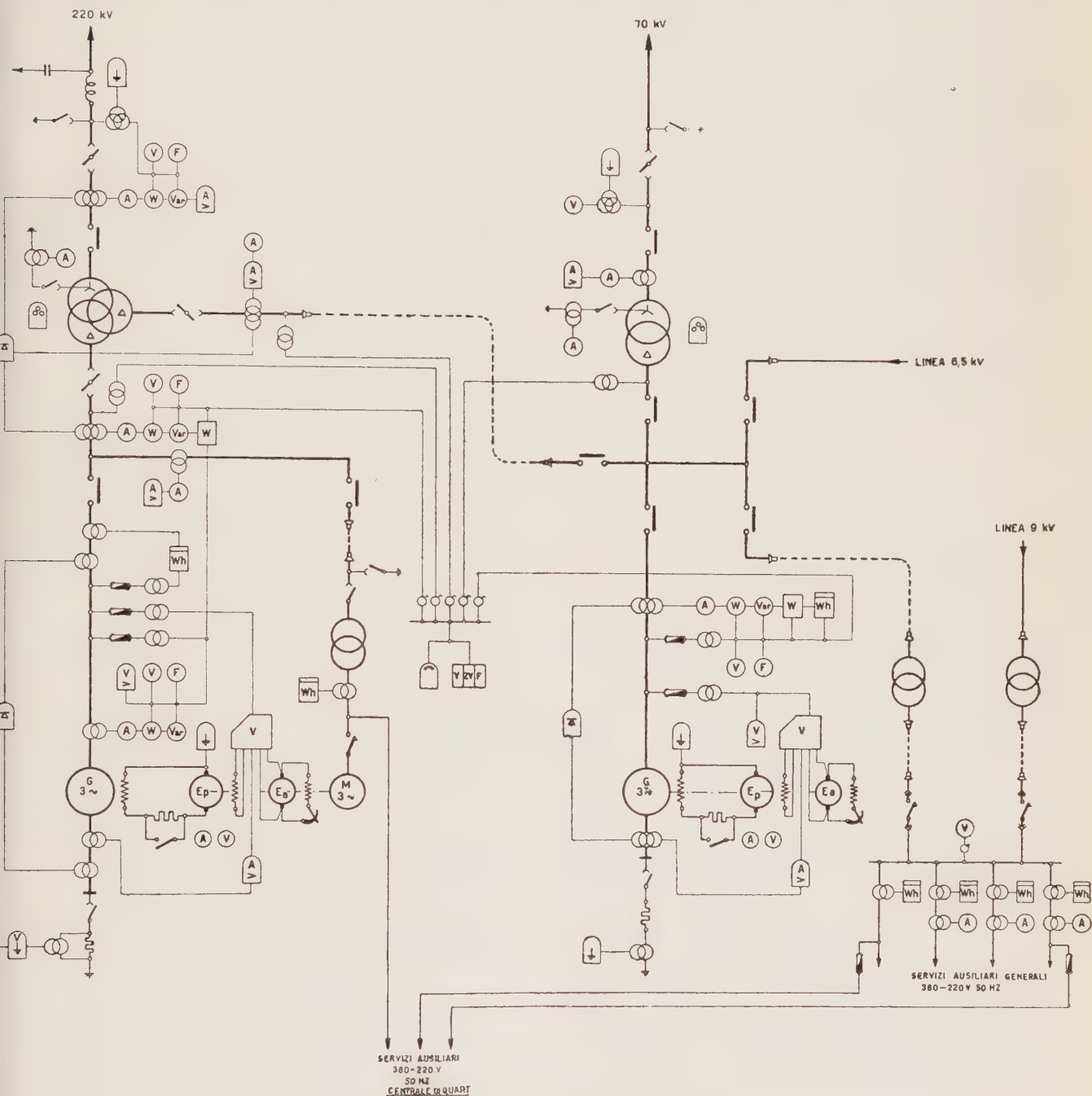


Fig. 3. — Schema generale.

Se si ammette che l'oscillazione sia sufficientemente lenta in maniera che il flusso nell'induttore e la f.e.m. abbiano il tempo di assumere i valori relativi al regime permanente per ogni posizione del rotore, nella formula (2) dovranno comparire la f.e.m. sincrona e le impedenze sincrone.

Se, come nel nostro alternatore, il fattore di potenza è vicino all'unità, $(E - V)/z_d$ è trascurabile in confronto a V^2/z_q , per cui l'equazione (3) diviene

$$P_s \approx \frac{V^2}{z_q}$$

cioè, con le ipotesi fatte, la potenza sincronizzante è ancora proporzionale al rapporto di corto circuito.

In realtà durante le oscillazioni, il flusso nel rotore non raggiunge in ogni istante i valori che corrispondono al regime permanente per ogni posizione angolare.

La variazione del flusso dipende da una parte dalla costante di tempo del rotore stesso, dall'altra dal modo di eccitazione e dall'azione rapida del regolatore di tensione durante la perturbazione.

Supponiamo il caso limite, cioè che la costante di tempo sia molto grande e che pertanto il flusso attraverso l'avvolgimento di eccitazione non abbia il tempo di variare in modo apprezzabile durante l'oscillazione.

In questo caso si può ammettere che la f.e.m. indotta transitoria che tende a mantenere il flusso nell'induttore, sia costante e che la caduta di tensione da considerare sia quella relativa all'impedenza transitoria della macchina, cioè all'impedenza che l'indotto oppone alle variazioni rapide di carico.

C'è da osservare che la f.e.m. transitoria ha solo la componente longitudinale cioè quella dovuta al flusso diretto secondo l'asse dell'induttore. Praticamente, non ha componente trasversale, perchè, secondo quest'asse, non esiste avvolgimento che abbia una costante di tempo paragonabile a quella dell'induttore. La gabbia ha una costante di tempo notevolmente bassa per riuscire a mantenere in maniera apprezzabile il flusso trasversale per una durata dell'ordine del periodo di oscillazione.

Quindi nell'equazione (2) della potenza sincronizzante dovremo introdurre E' f.e.m. transitoria longitudinale al posto di E , z'_d , praticamente uguale a x'_d , al posto di z_d , conservando l'impedenza sincrona trasversale z_q .

Così si ha:

$$(5) \quad P_s' = \frac{E' V}{z_d'} \cos \theta + V^2 \cos 2 \theta \left[\frac{1}{z_q} - \frac{1}{z_d'} \right].$$

Per θ prossimo a zero e per il funzionamento con fattore di potenza prossimo all'unità si ha l'espressione (4) precedentemente trovata: $P_s' \approx V^2/z_q$.

Pertanto valgono, anche con queste ipotesi, le stesse conclusioni.

Se si considerano variazioni lente di carico, il limite di stabilità della macchina, supposta funzionante su una rete di potenza infinita, è determinata dalle sue costanti sincrone.

Se invece si considerano le variazioni brusche di carico, il limite di stabilità dipende dalle costanti transitorie e della reattanza sincrona trasversale.

Le considerazioni esposte mostrano in ogni caso l'interesse che presenta un rapporto di corto circuito elevato per la stabilità della macchina.

Dalla definizione di tale rapporto appare chiaramente quali siano i concetti che il progettista deve tener presente per proporzionare la macchina in modo da ottenere un rapporto elevato.

Questo viene definito come rapporto tra l'eccitazione a vuoto per la tensione nominale e l'eccitazione che si ha in corto circuito per la corrente nominale dell'indotto.

Quindi conviene o aumentare l'eccitazione a vuoto ovvero diminuire l'eccitazione in corto circuito.

Supponiamo che si sia studiata la macchina con la massima utilizzazione per la potenza e la velocità richiesta e per queste dimensioni si sia trovata la minima reattanza di dispersione d'indotto.

Un aumento del rapporto di corto circuito non potrebbe essere ottenuto maggiorando la corrente di eccitazione a vuoto senza un aumento delle dimensioni della macchina. Infatti l'induttore aumenta di volume sia per il maggior ingombro e peso delle bobine, sia per le aumentate sollecitazioni meccaniche.

La riduzione dell'eccitazione in corto circuito ha come conseguenza la diminuzione della f.e.m. della reazione d'indotto, cioè del numero di spire di indotto.

Questo significa un aumento del flusso magnetico e quindi ancora un aumento delle dimensioni.

Volendo ridurre la reattanza transitoria ci troveremmo nelle stesse condizioni, cioè aumento di dimensioni.

Infatti la reattanza transitoria corrisponde alle dispersioni totali dell'indotto e dell'induttore riferito all'indotto.

Partendo dalla macchina la più economica e con dispersione d'indotto bassa, non resta altro per ridurre la reattanza transitoria che diminuire il numero delle spire, quindi ancora un aumento delle dimensioni.

Un aumento del volume della macchina risulta evidente anche dalla formula della potenza interna della macchina.

$$P_a = 1,11 \Omega D^2 L \cdot A \cdot B \cdot 10^{-8}$$

dove: Ω = velocità angolare

D = diametro al traferro

L = lunghezza dell'indotto

A = densità lineare di corrente

B = induzione al traferro.

Il volume attivo D^2L a parità di potenza, velocità e induzione, è inversamente proporzionale alla densità lineare A che a sua volta è proporzionale al numero delle spire di indotto per il carico in ampere.

Si può osservare che se un aumento di dimensioni è imposto da altre condizioni, come per es., la necessità di un PD^2 elevato, la diminuzione di A si ha naturalmente senza ulteriori aumenti di volume.

Valori delle costanti dell'alternatore.

Quanto su esposto è stato applicato allo studio dell'alternatore. Il PD^2 di 1 690 000 kgm^2 ha contribuito a ridurre il valore della densità lineare e quindi ottenere un rapporto di corto circuito elevato.

Si ottengono così i seguenti valori:

- densità lineare di corrente in amperspire per cm: 520; valore piuttosto basso;
- induzione al traferro a vuoto ed alla tensione di 10 000 V: 0,875 Wb/m²;
- reattanza di dispersione d'indotto: 0,114;
- reattanza sincrona longitudinale e trasversale:

$$X_d = 0,67$$

$$X_q = 0,46$$

- reattanza transitoria longitudinale: $X'_d = 0,22$;
- reattanza subtransitoria longitudinale e trasversale:

$$X_d'' = 0,19$$

$$X_q'' = 0,17$$

- reattanza di sequenza negativa:

$$X_1 = 0,18$$

- reattanze omopolare:

$$X_0 = 0,09$$

- costante di tempo del circuito di statore:

$$T_a = 0,182.$$

- costante di tempo dell'induttore (a indotto aperto):

$$T'_{do} = 4 \text{ sec};$$

- costante di tempo della componente transitoria della corrente di corto circuito: $T'_d = 1,31 \text{ sec}$;

- costante di tempo della componente subtransitoria della corrente di corto circuito: $T''_d = 0,1 \text{ sec}$.

I valori delle reattanze sopra indicate sono espresse in unità e sono stati calcolati a macchina non satura.

Le caratteristiche di eccitazione a vuoto e di corto circuito e i punti di funzionamento a carico sono rappresentati in fig. 4.

Caratteristiche costruttive principali.

La forma dell'alternatore è quella ad asse orizzontale con due turbine Francis accoppiate direttamente alle estremità flangiate dell'albero.

L'alternatorino a magneti permanenti per l'alimenta-

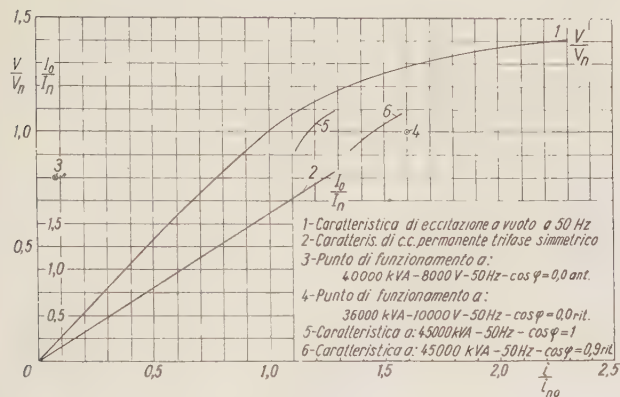


Fig. 4. — Caratteristiche di eccitazione dell'alternatore.

zione del motore del pendolo è calettato sull'albero principale dell'alternatore ed è previsto in due metà per un facile smontaggio.

La macchina è autoventilata con raffreddamento dell'aria in ciclo chiuso attraverso appositi refrigeranti ad acqua.

I refrigeranti sono situati nella parte inferiore della carcassa entro la fossa e sono facilmente smontabili ed estraibili dal piano del pavimento, essendo la fossa inaccessibile.

Lo statore è in due metà, le basi e le protezioni sono in lamiera e profilati di ferro saldati elettricamente.

La macchina è a tenuta praticamente ermetica e adatta all'applicazione della protezione antincendio mediante immissione di gas inerte.

I cuscinetti dei supporti sono previsti con lubrificazione a getto d'olio.

La circolazione dell'olio è assicurata in servizio da una pompa comandata da un ingranaggio direttamente calettato sull'albero dell'alternatore.

Durante l'avviamento e l'arresto la lubrificazione è assicurata da una elettropompa comandata automaticamente.

Filtri, scambiatori di calore, termometri e indicatori di circolazione completano l'impianto di lubrificazione in modo da assicurare un sicuro esercizio e un continuo controllo delle grandezze.

Il pacco dello statore, suddiviso in pacchetti elementari è costituito da lamierini magnetici a basse perdite specifiche, sbavati e isolati con carta.

Le piastre pressapacco e le dita in un sol pezzo sono realizzate con materiale amagnetico in modo da ridurre al minimo le perdite per correnti indotte o parassite.

I poli sono fucinati con espansioni lamellate e con attacco a coda di rondine.

Le espansioni portano una gabbia smorzatrice completa a bassa resistenza ohmica.

Per esigenze di trasporto la ruota polare è stata costituita da due raggere aventi ognuna quattro anelli montati a caldo.

Onde evitare deformazioni permanenti nell'albero e nelle raggere, particolare cura si è avuta nel montaggio a caldo in centrale delle due ruote sull'albero.

Questo è in acciaio fucinato in un sol pezzo, flangiato

nelle due estremità per l'accoppiamento delle due turbine Francis.

Tutte le masse rotanti sono state proporzionate in modo da resistere con ampio margine agli sforzi dovuti alla velocità di fuga. Le massime sollecitazioni meccaniche sono inferiori al 60 % del limite elastico dei vari materiali.

Il rotore completo è stato equilibrato accuratamente e le massime ampiezze delle oscillazioni sono risultate inferiori a 40 millesimi di mm.

L'avvolgimento indotto è a doppio strato a due conduttori per cava del tipo Roebel isolato in modo omogeneo su tutto lo sviluppo con nastro micato.

I conduttori di rame sono finemente suddivisi e opportunamente trasposti per ridurre le perdite parassite.

Le sbarre sono state impregnate in autoclave a più riprese, pressate a caldo e trattate alla superficie con vernici conduttive. In fig. 5 sono rappresentate le curve del $\tan \delta$ in funzione della tensione rilevate col ponte di Schering su una barra e i valori delle tensioni di perforazione.

L'avvolgimento induttore è formato da bobine di nastro di rame avvolto di costa, isolate in classe B e pressate a caldo prima del montaggio ad una pressione superiore a quella corrispondente alla velocità di fuga.

Tutti gli avvolgimenti sono robustamente ammassati per resistere agli sforzi di eventuali corto circuiti.

Pesi.

Alternatore completo	306	tonni
Statore completo	92,5	»
Rotore completo	180	»

Le sezioni longitudinale e trasversale dell'alternatore sono rappresentate nelle figure 6 e 7.

Il gruppo di eccitazione separato a 1480 giri/min con

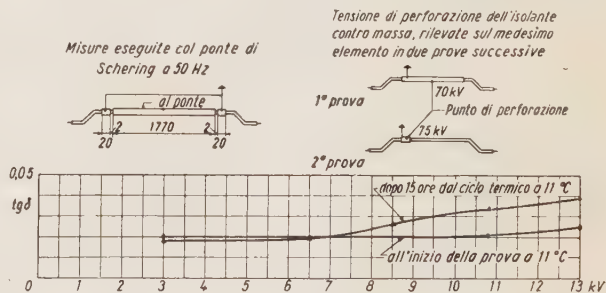


Fig. 5. — Valori del $\tan \delta$ in funzione della tensione ricevuta sulle sbarre statoriche dell'alternatore.

raffreddamento dell'aria in ciclo chiuso è particolarmente silenzioso ed è costituito da:

— motore asincrono trifase con rotore a gabbia delle seguenti caratteristiche:

- potenza resa all'asse in servizio continuo 370 kW;
- tensione 380 V;
- frequenza 50 Hz;
- coppia massima 2,8 volte la coppia nominale;

— dinamo eccitatrice principale ad eccitazione indipendente e con avvolgimento di compensazione:

- potenza resa ai morsetti in servizio continuo 330 kW;
- tensione 380 V;

— dinamo eccitatrice ausiliaria ad eccitazione composta per tensione costante:

- potenza resa ai morsetti in servizio continuo 12 kW;
- tensione 220 V;

— un volano adatto a mantenere costante la velocità del gruppo durante gli impulsi e ad assicurare il funzionamento per 1 sec in mancanza di alimentazione.

Le misure del gradiente e della risposta della eccitatrice principale definita secondo la nota definizione della AIEE (cfr. fig. 8) sono risultate di 2,6 sec⁻¹ partendo dalla ten-

sione di eccitazione dell'alternatore funzionante a pieno carico 10 000 V, 50 Hz, $\cos \varphi = 0,9$ (ritardo).

TRASFORMATORE.

1) Dati di funzionamento.

Il gruppo installato nella centrale fa capo ad un trasformatore avente le caratteristiche seguenti:

— collegamenti: triangolo/triangolo/stella con neutro;

— gruppo dei collegamenti: Ddo/Yd11/Yd11.

Le principali particolarità costruttive del trasformatore sono:

Nucleo.

È del tipo a cinque colonne con gioghi a lamiere intercalate.

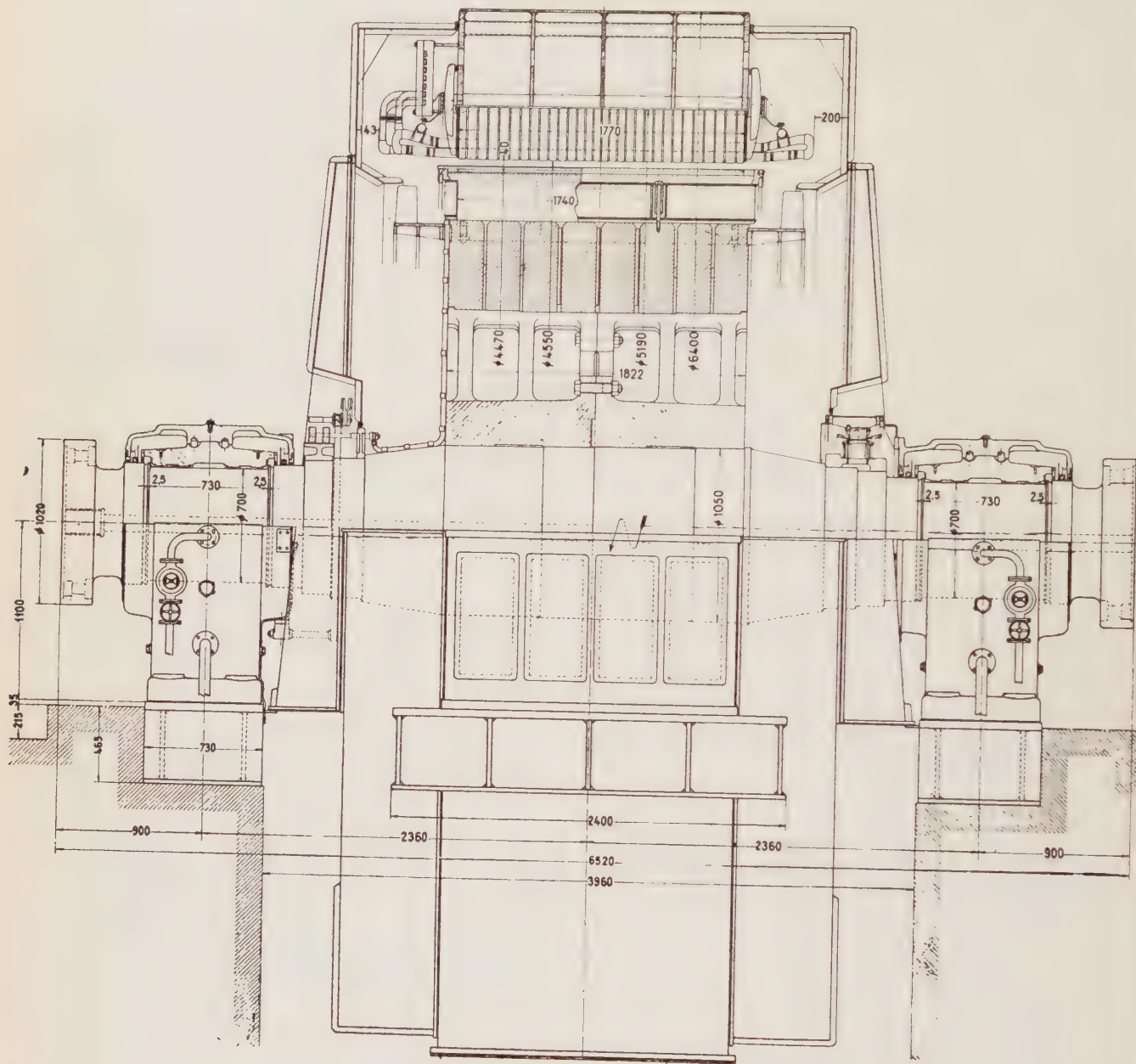


Fig. 6. — Sezione longitudinale dell'alternatore.

- costruzione per installazione all'aperto;
- raffreddamento mediante circolazione forzata di olio in aerotermini (termoconvettori);
- numero degli avvolgimenti: 3 (due primari e un secondario);
- potenza degli avvolgimenti: 10 000/45 000/55 000 kVA.

Queste potenze valgono anche per variazione del $\pm 8\%$ della tensione di alimentazione.

- tensioni a vuoto 6/10/246 kV;
- tensione secondaria a pieno carico e $\cos \varphi = 0,9 = 230$ kV;

Tale soluzione costruttiva è stata adottata in vista delle possibilità di trasporto in sagoma ferroviaria nel caso presente complicate dalla limitazione a 80 t del carico ferroviario massimo ammesso dalla linea che congiunge la centrale di Quart con la stazione di Chivasso.

Per la fabbricazione del pacco magnetico sono stati impiegati lamierini del tipo TSTA 113, con cifra di perdita 1,13 W/kg isolati mediante verniciatura.

La pressatura del pacco è stata realizzata con tiranti, mentre il raffreddamento è stato ottenuto con canali di circolazione dell'olio praticati normalmente al senso di laminazione sia nelle colonne che nei gioghi.

Le fiancate dell'armatura pressa-giogo superiore sono state munite di ganci di sollevamento del nucleo avvolto.

Il calcolo della distribuzione dei flussi nelle colonne laterali ausiliarie e nei gioghi mostra una distribuzione praticamente uguale a quella di un trasformatore a nucleo simmetrico con i gioghi a triangolo.

Tale distribuzione è stata confermata anche da rilievi eseguiti in sala prove in occasione della prova magnetica preliminare del nucleo la quale ha mostrato l'accordo delle misure di perdita e corrente a vuoto con i dati previsti dal calcolo.

Per garantire la resistenza elettrica alle sollecitazioni ad impulso oltre alla lenta graduazione dell'isolamento di spira si sono previsti due altri accorgimenti costruttivi:

— adozione di un anello di fondazione su tutte le sezioni con aumento graduale del suo spessore in corrispondenza all'aumento dell'isolamento di spira;

— adozione di distanziatori opportunamente sagomati in maniera da realizzare i seguenti requisiti:

eliminazione della scarica lungo i distanziatori che stabiliscono il canale d'olio fra l'avvolgimento e il primo

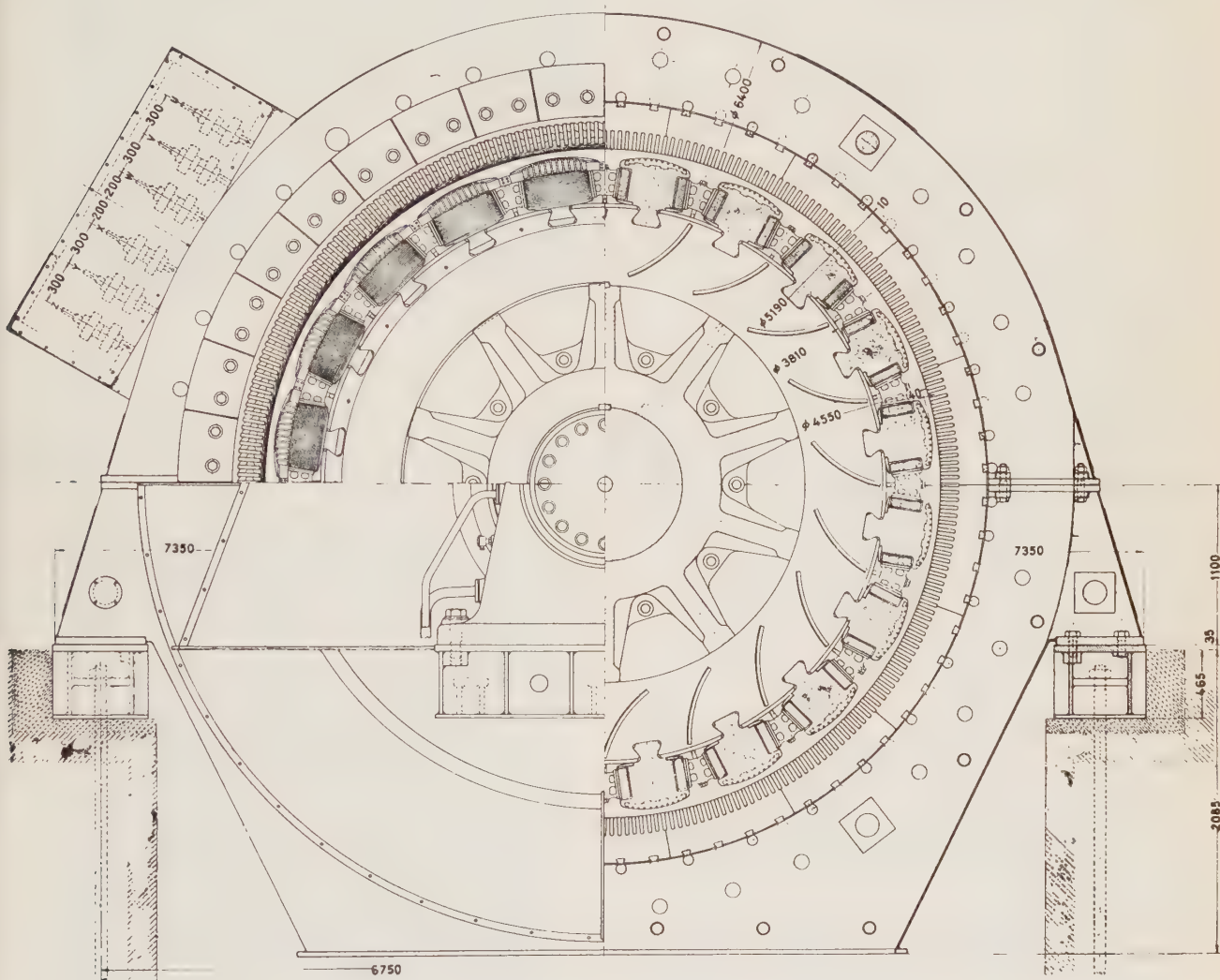


Fig. 7. — Sezione trasversale dell'alternatore.

Il peso effettivo del nucleo è risultato di 78 100. kg contro 77 500 kg garantiti.

Avvolgimenti.

La disposizione ed il tipo degli avvolgimenti a partire dal nucleo sono i seguenti:

- avvolgimento primario a 6 kV - 10 MVA a doppia elica;
- avvolgimento primario a 10 kV - 45 MVA a doppia elica;
- avvolgimento secondario a 246 kV - 55 MVA a disco.

L'avvolgimento di alta tensione è del tipo convenzionale con isolamento di spira finemente graduato alle due estremità in quanto è richiesta la condizione di poter funzionare con il neutro isolato.

cilindro isolante verso l'avvolgimento di bassa tensione, contiguo a quello di alta tensione;

protezione dell'isolamento di spira dall'azione tranciante dei bordi dei tacchetti distanziatori fra sezioni dell'avvolgimento di alta tensione.

Esperienze condotte su campioni di bobine hanno confermato la bontà della disposizione costruttiva adottata che può all'incirca raddoppiare la tensione di scarica ad impulso tra 2 sezioni. Altrettanto dicasi nei riguardi del secondo punto come hanno indicato prove meccaniche sui complessi di bobine a disco con varia forma ed isolamento dei conduttori. L'adozione di cartoni del tipo transformerboard, che hanno oltre a caratteristiche ben superiori a quelle dell'ordinario pressspann, una durezza assai superiore con conseguente relativo aumento delle sollecitazioni meccaniche sull'isolamento di spira, ha reso necessario uno studio particolare dei distanziatori fra le

sezioni dell'avvolgimento anche dal punto di vista del suo comportamento meccanico.

Fra l'avvolgimento di A.T. e quello adiacente di B.T. sono state inserite cinque tramezze isolanti costituite come segue.

In corrispondenza all'avvolgimento si trova un cilindro isolante in carta bachelizzata dello spessore di 10 mm, non verniciato. L'eliminazione della verniciatura del ci-

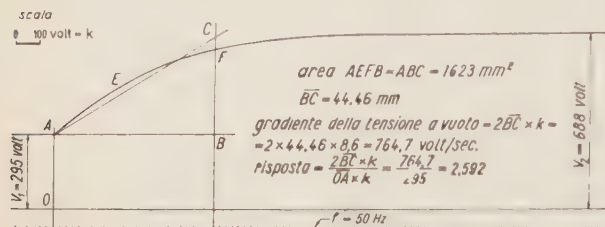


Fig. 8. — Misura del gradiente della tensione a vuoto e risposta dell'eccitatrice principale.

lindro è stata adottata in seguito ad esperienze che indicano un comportamento del materiale isolante senza vernice superiore dal punto di vista della scarica superficiale specialmente ad impulso.

Il cilindro suddetto, oltre a realizzare una barriera isolante solida, ha la funzione di sopportare meccanicamente gli avvolgimenti durante la loro fabbricazione ed il loro montaggio.

Successivamente andando verso l'avvolgimento di B.T. adiacente all'A.T. si incontrano quattro cartocci in transformerboard. Questi ultimi cartocci che hanno come esclusivo compito quello di costituire delle tramezze isolanti solide fra A.T. e B.T. sono stati impiegati in relazione all'elevato potere dielettrico del materiale che li costituisce, il quale ha un gradiente di perforazione dell'ordine di 40 kV/mm in luogo dei 12÷15 kV/mm della

carta bachelizzata ed anche una costante dielettrica relativa uguale a 3,9 circa, in luogo di 4,5 proprio della carta bachelizzata. Questo fatto tende a migliorare lievemente la distribuzione della tensione fra A.T. e B.T.

Premesse queste notizie di carattere generale aggiungiamo che una volta stabilite in modo definitivo la forma e la composizione dell'avvolgimento si è proceduto al calcolo della distribuzione della tensione ad impulso seguendo il procedimento proposto dal prof. A. M. Angelini nel suo corso di Costruzioni Elettromeccaniche.

Rilievi eseguiti mediante l'oscillografo ripetitore su una colonna completa di avvolgimenti (colonna di riserva) con disposizione che riproduce esattamente quella effettiva degli avvolgimenti montati sul trasformatore mediante apposita struttura meccanica, hanno confermato l'esattezza del metodo.

Essendosi poi disposta la colonna in apposito cassone stagno dopo relativo trattamento e riempimento d'olio si è proceduto alla prova ad impulso a 1050 kV del complesso sopra descritto con esito soddisfacente. Il controllo del comportamento degli avvolgimenti alla prova suddetta eseguita secondo le prescrizioni delle Norme CEI fascicolo n. 53, è stato eseguito controllando la corrente di terra. Analoghe prove a 125 kV sono state eseguite sugli avvolgimenti di bassa tensione.

Occorre aggiungere che prima di sottoporre la colonna alla prova ad impulso si era effettuata la prova con tensione applicata a 460 kV secondo le prescrizioni Norme CEI per l'A.T. ed analoghe prove a 50 kV per gli altri due avvolgimenti. Le prove hanno dato esito favorevole.

Tutto quanto ora esposto è stato eseguito oltre che allo scopo di esaminare il comportamento elettrico degli avvolgimenti, per accertarsi che quanto veniva consegnato al montaggio in centrale, fosse in perfetto ordine.

Per l'impregnazione degli avvolgimenti non si è fatto uso di vernici, l'impregnazione degli avvolgimenti è stata fatta con solo olio, sia per la colonna provata come per il trasformatore montato in centrale, secondo gli attuali

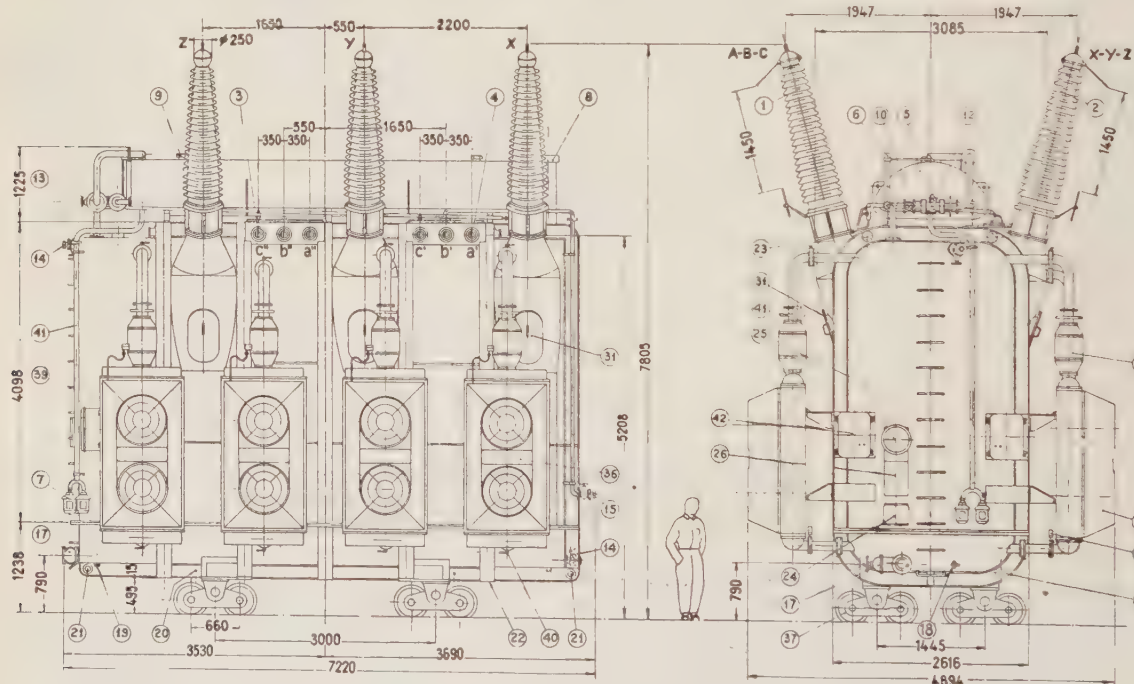


Fig. 9. — Trasformatore principale.

1, isolatori A.T. (A-B-C); 2, isolatori A.T. (x-y-z); 3, isolatori B.T. (c b' a''); 4, isolatori M.T. (c b a); 5, recipiente espansione olio; 6, livello olio visibile, con segnalazione; 7, depuratori aria al silicagel; 8, valvola di sicurezza; 9, tappo riempimento olio conservatore; 10, tubazione per re-
lè a gas; 12, relè a gas «Custos» con dispositivo di ritenuta olio; 13, saracinesca di separazione; 14, saracinesca per filtro pressa; 15, saracinesca attacco pompa a vuoto; 17, saracinesca scarico rapido; 18, rubinetto prelievo olio; 19, tappo spurgo; 20, viti messa a terra; 21, occhioli traino nei due sensi; 22, piastre per martinetti di sollevamento; 23, perni sollevamento coperchio; 24, morsetteria centralizzazione servizi; 25, termometro a quadrante; 26, targa schema; 31, boccaporti montaggio isolatori A.T.; 33, aerotermi; 34, motopompe; 35, indicatore circolazione olio; 36, apparecchiatura aerotermo; 37, sistema di scorrimento orientabile; 39, scala per manovre relè ecc.; 40, valvole lenticolari; 41, giunti dilatatori; 42, arma-

criteri i quali si basano sul fatto che il comportamento elettrico del sistema carta-olio, senza l'uso di vernici impregnanti è il migliore che si possa desiderare in quanto la carta previamente trattata a fondo e cioè sostanzialmente liberata dall'umidità in essa contenuta (è noto

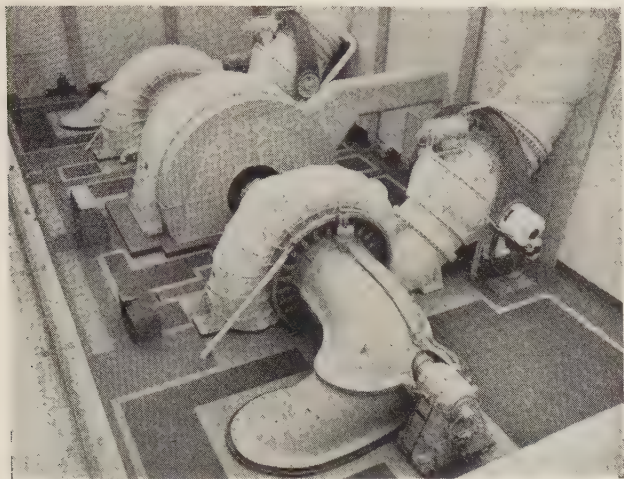


Fig. 10. — Vista sala macchine.

che la carta contiene allo stato normale circa il 7 % d'acqua) e quindi impregnata d'olio essiccato e degassato presenta caratteristiche dielettriche eccellenti.

L'ammarraggio degli avvolgimenti è stato eseguito mediante molle regolabili custodite in un dispositivo a

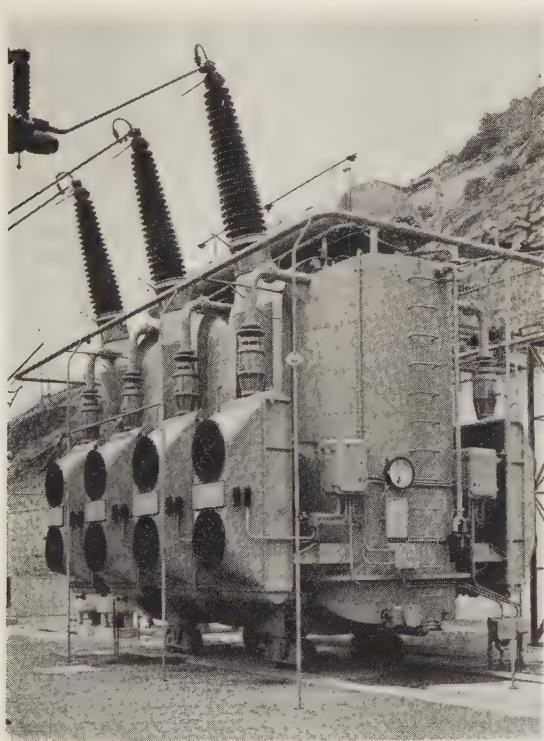


Fig. 11. — Vista del trasformatore.

catarratta. Questo dispositivo mentre assicura una pressione praticamente costante su ciascuno degli avvolgimenti si comporta come un ammassaggio rigido nei riguardi delle sollecitazioni assiali che eventuali corti circuiti possono fare nascere nell'avvolgimento.

Cassone.

Il cassone è del tipo autoclave in lamiera saldata ed opportunamente rinforzata in maniera da potervi prati-

care il vuoto per il trattamento del nucleo avvolto e dell'olio senza dover ricorrere a particolari accorgimenti per l'esecuzione di questa operazione. Esso è suddiviso in tre parti cioè fondo, mantello e coperchio.

La disposizione ora accennata permette di accedere al nucleo trasformatore, che appoggia sul fondo come in una culla, mediante asportazione del coperchio e del mantello previo svuotamento dell'olio.

Essa presenta il vantaggio di non richiedere una fossa per lo sfilamento del nucleo avvolto dal cassone, richiede una gru della portata di poche tonnellate e quindi una struttura muraria del tutto ridotta e semplifica notevolmente le operazioni alle quali le macchine devono essere sottoposte sia in occasione di eventuali guasti come pure per la revisione periodica alla quale secondo la buona pratica ogni macchina dovrebbe essere sottoposta almeno dopo dieci anni di buon funzionamento.

Si aggiunga che nel caso particolare considerato le operazioni di trasporto del cassone così suddiviso sono state semplificate in modo essenziale.

Le guarnizioni in corrispondenza alla suddivisione del cassone sono in gomma insolubile in olio, alloggiata in apposita sede lavorata, con tolleranze meccaniche ridotte al minimo cosicché la guarnizione in opera occupa esattamente tutto lo spazio lasciato a disposizione dalla propria sede ed il serraggio viene fatto sino al contatto dei piani delle flange di accoppiamento.

Se ciò richiede una lavorazione meccanica particolarmente accurata, garantisce d'altra parte una tenuta perfetta e contribuisce alla stabilità delle varie parti del cassone contro l'azione delle forze che si sviluppano per azione del vuoto durante il trattamento.

Prima della spedizione alla centrale il cassone è stato completamente montato e mediante un insieme di comparatori montati su apposite incastellature si è proceduto al rilievo delle deformazioni nei punti più sollecitati praticando il vuoto nel suo interno.

Non è possibile entrare qui in particolari di dettaglio sull'operazione che ha richiesto un lavoro lungo e minuzioso. I seguenti dati riassumono i risultati delle prove eseguite:

— il vuoto fu spinto fino a 5 mm di mercurio. Dopo ventiquattro ore esso era sceso da 755 a 730 mm di Hg;

— tutte le deformazioni rilevate sono state di carattere elastico in quanto dopo aver fatto entrare l'aria nel cassone le deformazioni si sono rivelate trascurabili.

Lo smontaggio eseguito in occasione della spedizione ha mostrato le guarnizioni di tenuta in ottime condizioni.

Il cassone è naturalmente munito di sistema di scorrimento, valvole, saracinesche, pozzetti ecc., cioè di tutti gli accessori richiesti dall'esercizio del trasformatore.

Vi sono inoltre ganci capaci di sopportare il peso del trasformatore completo di olio nell'eventualità che occorrenze dell'esercizio possano richiedere tale operazione.

I dati delle garanzie elettriche e di peso sono i seguenti:

perdite nel ferro	170	kW
perdite nel rame a 75 °C		
primario 6 kV — base 10 MVA . . .	18,5	»
primario 10 kV — » 45 » . . .	127,5	»
second. 246 kV — » 55 » . . .	185	»
Tensione di corto circuito a 75 °C:		
rapporto 6/230 kV — base 10 MVA .	2,7	%
» 10/230 » — » 45 » . . .	9,5	%
» 6/10 » — » 10 » . . .	0,4	%
Corrente a vuoto a tensione normale		
(base 55 MVA)	4,25	%
Idem a 1,08 volte la tensione normale	6	%
Ferro attivo	77	500 kg
Rame nudo avvolg.	10	000 »
Parte estraibile	108	000 »
Oilio di riempimento (netto)	40	000 »
Trasformatore completo di olio . . .		
ed accessori	170	000 »

Il disegno (fig. 9) illustra l'insieme e la disposizione del trasformatore.

Impianto di raffreddamento.

Il complesso raffreddante è stato realizzato a mezzo di 8 aerotermini (termoconvettori) ciascuno costituito da:

— una elettropompa centrifuga per la circolazione dell'olio, con motore annegato, di costruzione Breda;

— un radiatore in tubi di ferro lisci mandrinati alle relative piastre tubiere e con queste completamente fosfatate a mezzo di apposito speciale trattamento; la protezione dei tubi e delle piastre tubiere così ottenuta ha mostrato di essere insensibile alle azioni dell'ambiente esterno;

— due elettroventilatori elicoidali con ventola in acciaio a profilo per funzionamento silenzioso e con motore chiuso ventilato; la ventola ora detta rappresenta il risul-

tato di una serie di ricerche dirette a trovare un propulsore dell'aria avente elevato rendimento e contemporaneamente la minima rumorosità;

— un indicatore di circolazione d'olio ed una apparecchiatura di comando e protezione sia per l'elettropompa che per i ventilatori.

L'impianto di raffreddamento è stato parzializzato in maniera da poter inserire automaticamente a mezzo di termostati gradualmente tarati il numero di aerotermini necessari al raffreddamento della macchina; inoltre un aerotermino può rimanere disinserito, come elemento di riserva quando la macchina funziona al suo pieno carico.

La Breda Elettromeccanica S.p.A. ha provveduto per la centrale di Quart alla fornitura dell'alternatore, del trasformatore, dei quadri di manovra, di parte delle apparecchiature ed accessori ed al montaggio completo della parte elettrica.

LIBRI E PUBBLICAZIONI

J. J. FREEMAN: *Principles of noise*. (J. Wiley, New York, 1958. Un volume di 15 x 24 cm, x + 299 pagine, 168 figure. Prezzo 9,25 dollari).

Dalle lezioni tenute all'Università del Maryland deriva questo trattato sui fondamenti « dei principi, dei fatti e delle tecniche usati nell'analisi del rumore », in cui il rigore e la ampiezza della trattazione sono felicemente congiunti alla chiarezza e alla concretezza della esposizione.

Prendendo le mosse da ampi richiami sulla serie e gli integrali di Fourier, vengono poi svolti ampiamente i concetti fondamentali della probabilità e studiati in modo particolare i processi casuali stazionari. L'esame delle sorgenti di rumore, quali i resistori e i tubi, porta poi alla definizione dei generatori equivalenti di rumore e alla considerazione del coefficiente di rumore. Un capitolo è dedicato poi alla discussione della misura di tensioni continue e infine, dopo lo studio dei processi casuali di tipo gaussiano, viene esaminato il problema della determinazione di forme d'onda alternative e quello dei disturbi sugli schermi dei radar.

La materia è tra quelle più ardue e nello stesso tempo più affascinanti. La trattazione è prevalentemente matematica, anche se continuamente appoggiata a casi concreti, tutti interessanti per se stessi. Perciò il volume va raccomandato a chi voglia affrontare l'argomento nella sua massima ampiezza e con tutti i mezzi offerti dall'analisi moderna.

Alcune delicate questioni concettuali sono risolte con leggerezza di tocco, senza fermarsi in discussioni, che potrebbero sembrare astratte, ma che avrebbero soddisfatto il lettore già esperto. Ma il libro vuole essere essenzialmente didattico e tende ai risultati pratici diretti; e in questo senso è perfettamente centrato.

La presentazione editoriale è bellissima.

*

S. H. CALDWELL: *Switching Circuits and logical design*. (J. Wiley, New York, 1958. Un volume di 25 x 15 cm. XVII + 686 pagine, 574 figure. Prezzo 14 dollari).

Il volume è dedicato allo studio dei circuiti di comando o regolazione del tipo a tutto o niente, come sono ad esempio i circuiti di segnalazione e di blocco delle ferrovie. In sostanza si tratta di complessi, in cui la decisione finale di « sì o no » dipende da una serie di condizioni intermedie dello stesso tipo, le quali la condizionano senza ambiguità. Dopo di che sarebbe sommamente utile trovare una parola, che dicesse tutto questo così succintamente come il termine inglese « switching ».

Circuiti di questo genere, che aiutano a prendere rapidamente decisioni, si possono evidentemente disegnare empiricamente, ma, quando diventano molto complessi, come ad esempio nelle macchine calcolatrici, o richiedono di essere previsti per la decisione migliore tra molte possibilità, devono essere inquadrati in una teoria, che indichi le vie maestre e aiuti a tralasciare i vicoli ciechi o le vie inutilmente tortuose. Questa teoria, di cui C. E. Shannon gettò le basi

nel 1938, ha ora sviluppi molto vasti, ma è dispersa in articoli di riviste e atti di congressi. Perciò non può essere che accolto con favore questo libro, che, raccogliendo la materia di un corso del MIT, fornisce il quadro completo di quanto oggi si ha intorno alla teoria, alle basi scientifiche e ai metodi di progetto dei circuiti, di cui si parla.

Dopo due capitoli di carattere introduttivo e descrittivo, sia sul conto delle applicazioni, sia sul conto degli organi elettromagnetici di interruzione (relè), il terzo capitolo è dedicato allo svolgimento dell'algebra dei contatti, esposta in forma astratta perchè sia applicabile ai casi singoli tanto numerosi e diversi; tuttavia il capitolo si chiude con la trasposizione in termini fisici concreti dei teoremi esposti prima in forma astratta. Segue lo studio delle reti di contatti: nel capitolo quarto le reti di contatti in serie e parallelo, nel capitolo quinto i metodi di riduzione al minimo, nel capitolo sesto le reti a più terminali, nel capitolo settimo le funzioni simmetriche, nel capitolo ottavo la sintesi di reti più complesse.

Fissate così le basi mediante la considerazione di sistemi facilmente visualizzabili, quali i contatti, si passa allo studio dei sistemi elettronici e a semiconduttori in funzione di « porte » e di elementi logici. Poi, dopo un capitolo sui codici, si torna alle reti con l'esame di quelle del tipo iterativo. I capitoli dodici e tredici contengono lo sviluppo più generale della sintesi delle reti sequenziali, appoggiandosi ai sistemi con contatti, mentre lo stesso problema è ripreso nel capitolo successivo con riferimento ai sistemi elettronici e con semiconduttori. L'ultimo capitolo riguarda i circuiti per impulsi.

Numerosi problemi raccolti alla fine di ogni capitolo consentono di svolgere lo studio in forma concreta e profittevole; alcune appendici sui numeri binari rendono autonoma la lettura. La quale va raccomandata agli specialisti e agli studiosi, che troveranno una trattazione concettosa e generale, fatta con estrema chiarezza e semplicità. Ottima, come sempre, la presentazione editoriale.

*

PHILIPS ELECTRON TUBES DIVISION: *Industrial rectifying tubes*. (Philips Technical Library, 1957. Un volume di 14,5 x 22 cm, x + 116 pagine, 100 figure. Prezzo L. 1 400. Distributore per l'Italia: Philips S.p.A., piazza IV Novembre 3, Milano).

Decimoterzo volume della serie « Tubi elettronici », contiene pratiche e utili informazioni sul funzionamento e la costruzione dei tubi raddrizzatori a gas e catodo caldo, insieme a indicazioni per l'uso nella carica di batterie, nei raddrizzatori di potenza, nei raddrizzatori cinematografici e nelle saldatrici ad arco in corrente continua.

Con numerosi dati caratteristici dei tubi più adatti per le diverse applicazioni sono indicati i criteri di progetto di raddrizzatori. Una tabella di selezione facilita grandemente la scelta dei circuiti e dei tubi più adatti a ogni scopo.

Il primo capitolo è di carattere generale e contiene i principi di funzionamento con considerazioni sul rendimento, sul-

l'installazione e sui valori limiti. Nel secondo capitolo è studiato il progetto e la costruzione dei raddrizzatori per carica di batterie, mentre il terzo riguarda i raddrizzatori industriali con e senza trasformatore e con autotrasformatore, il quarto si riferisce ai raddrizzatori cinematografici e il quinto alle saldatrici. Seguono i dati di diciotto tipi di tubi.

Ogni capitolo è corredato di esempi numerici sviluppati ampiamente. L'edizione è, al solito, molto bella.

✱

W. NURNBERG: *Die Prüfung elektrischer Maschinen*. (IV edizione riveduta ed ampliata. Springer-Vulog, Berlin. Göttingen, Heidelberg, 1959. Un volume in-8° grande, di XII+467 pagine, con 340 figure. Prezzo, rilegato in tutta tela, 34,50 DM).

La pubblicazione della quarta edizione è indice del successo di quest'opera che, come già abbiamo avuto occasione di dire recensendo le precedenti edizioni, può essere considerata come fondamentale nel suo genere ed esemplare per chiarezza, ordine e rigore di esposizione.

Essa risulta arricchita — rispetto alla terza edizione — di oltre cinquanta pagine che corrispondono ad un capitolo interamente nuovo nel quale viene descritto l'uso del flussometro convenzionale e del flussometro con sonda ad effetto Hall nelle misure del campo magnetico nell'interferro delle macchine sincrone e delle macchine a corrente continua. In particolare si riportano esempi di determinazione del campo a regime lungo l'interferro nel funzionamento a vuoto e nel funzionamento a carico, e — per il caso di macchine a corrente continua — metodi per lo studio del comportamento dinamico dei poli principali ed ausiliari.

Il resto del volume è rimasto praticamente inalterato ed anche per questa nuova edizione si può ripetere il favorevole apprezzamento già espresso a proposito delle precedenti.

✱

M. KNOLL: *Materials and Processes of Electron Devices*. (Ed. Springer, Berlino, 1959. Un volume di 16 x 25 cm, di 484 pagine, con 411 figure e 4 tavole a colori. Prezzo, rilegato, 66 DM).

La tecnica costruttiva degli apparecchi elettronici si giova in larga misura di materiali poco comuni nelle altre applicazioni e di procedimenti lavorativi alquanto peculiari. Le notizie su tali argomenti sono diffuse nella letteratura tecnica e non sempre facilmente reperibili. Opportuno riesce quindi il volume che presentiamo e che contiene una esposizione sistematica e aggiornata di questa tecnica speciale.

La esposizione è presentata in maniera molto efficace, aderente alla realtà delle pratiche applicazioni, con l'ausilio di molte figure, tabelle, diagrammi ecc. Il libro si presenta quindi come una fonte di riferimento estremamente utile per tutti i progettisti e costruttori di apparecchiature elettroniche e, di conseguenza anche, per gli utenti di esse.

La vastissima materia è divisa in 14 capitoli. Il primo si occupa delle caratteristiche generali dei materiali, della loro struttura ecc. Segue un capitolo sulle prove per i materiali destinati ai tubi a vuoto. Successivi capitoli si occupano delle caratteristiche e delle applicazioni dei metalli e loro leghe usati nei tubi elettronici. In altri capitoli sono presi in considerazione i vetri e i materiali ceramici, i semiconduttori, i materiali organici, i gas e i vapori.

La tecnica della degasazione delle parti metalliche, del trattamento delle superfici metalliche e delle giunzioni fra parti metalliche forma oggetto di particolari capitoli; un analogo capitolo riguarda i vetri e i materiali ceramici. Gli ultimi 2 capitoli sono dedicati alle operazioni di svuotamento e ai getters.

In Appendice è riportata una raccolta di utili tabelle numeriche e di abachi grafici.

Il volume è anche corredato da una ricchissima bibliografia distribuita per capitoli.

✱

Automation Systems. (Editore Engineering Publishers, New York, 1958. 180 Pagine, rilegato. Senza indicazione di prezzo).

Il volume è il semplice rendiconto della seconda conferenza EIA (Electronic Industries Association) sull'automazione.

Esso riporta i singoli contributi presentati alla conferenza da 23 specialisti, nei vari settori dell'automazione.

Molto buona la presentazione.

R. L. BEAN - N. CHACKRAN JR. - H. R. MOORE - E. C. WENTZ: *Transformers for the Electric Power Industry*. (Editore Mc Graw - Hill Book Co., New York, Toronto, London, 1959. Un volume rilegato di 409 pagine, con molte illustrazioni. Senza indicazione di prezzo).

Il presente volume, scritto da ingegneri dell'Ufficio Tecnico Trasformatori della Westinghouse Electric Corporation, si rivolge a coloro che si debbano occupare di trasformatori non essendone progettisti, e realmente può essere un aiuto per chi, studente, acquirente, impiantista o comunque persona colta, desidera conoscere i problemi teorici e di pratica costruttiva relativi ai trasformatori.

L'opera è infatti una chiara ed esauriente trattazione dei vari elementi teorici e pratici inerenti ai trasformatori di potenza.

Dopo un accenno ai principi generali sul loro funzionamento ed alle loro caratteristiche, in relazione al compito che debbono svolgere ed alle condizioni di funzionamento a seconda che si trovino in centrali o in sottostazioni di vario tipo, gli Autori illustrano esaurientemente i vari tipi di nuclei, di avvolgimenti e di ammassaggi in relazione alle caratteristiche dei circuiti magnetici, degli isolamenti e delle forze elettrodinamiche.

Ampio spazio viene anche dedicato agli aspetti economici della progettazione, alla manutenzione, agli accessori, ai problemi di trasporto ed alle prove eseguite, con particolare riferimento alle norme della American Standard Association.

Molta buona la presentazione.

✱

Fritz Henze: *Blindstrom und Leistungsfaktor*. (Fachbuchverlag, Lipsia, 1959. Un volume in-8° di 112 pagine, 98 figure. Prezzo 4 DM).

Un volumetto a carattere pratico sul rifasamento degli apparecchi e degli impianti, con molti schemi ed esempi numerici, ha sempre la possibilità di interessare un largo pubblico di tecnici ed, in particolar modo, di installatori.

Questo dell'Henze ha inoltre il vantaggio di dare un panorama completo dei vari mezzi che la tecnica mette a disposizione in questo campo, comprendendovi, da un lato, anche quelli che non hanno avuto, o non hanno più, grande fortuna, e, dall'altro, i sistemi moderni di regolazione automatica della potenza reattiva e gli schemi di inserzione automatica delle batterie di condensatori.

✱

R. LANGBEIN - G. WERKMEISTER: *Elektrische Messgeräte - Genauigkeit und Einflussgrößen*. (Technisch - Physikalische Monographien - Bd 2 Auflage 3 - Lipsia, 1959 - Akademische Verlagsgesellschaft Geest und Portig K. G. Un volume in-8° di XII + 251 pagine, con 208 figure. Prezzo, rilegato, 22 DM).

L'accresciuto materiale illustrativo e soprattutto l'uscita delle nuove Norme VDE del 1953 hanno consigliato gli Autori a rivedere il testo di questo loro volume sulle misure elettriche ed a ripubblicarlo in terza edizione.

Nella forma attuale esso si compone di due parti precedute da una breve introduzione in cui si esaminano gli errori che influiscono sulle misure: errori di metodo, errori degli strumenti, errori accidentali.

La prima parte è dedicata ai concetti informatori della costruzione ed alla descrizione del funzionamento dei diversi tipi di strumenti di misura: strumenti a bobina mobile, a ferro mobile, elettrodinamici, a raddrizzatori, a filo caldo ed a termocoppie. Il tutto in una quarantina di pagine, in forma cioè alquanto succinta ma tuttavia molto chiara ed essenziale.

Le rimanenti duecento pagine circa sono invece dedicate alla seconda parte che tratta delle circostanze che determinano la precisione degli strumenti prima esaminati e considera: le influenze meccaniche, le influenze della temperatura, l'influenza delle grandezze elettriche sottoposte a misure, le influenze di campi elettrostatici e magnetici, ecc.

Tutta la sostanza del volume è praticamente contenuta in questa seconda parte che tratta argomenti di grande interesse nella tecnica delle misure elettriche con precisione, chiarezza e metodo encomiabili.

Il volume potrà essere perciò utile agli allievi ingegneri elettrotecnici ed anche agli specialisti delle misure elettriche.

Esso contiene molti riferimenti bibliografici ed è presentato in ottima veste tipografica.



ASSOCIAZIONE ELETTROTECNICA ITALIANA

POSTA SOTTO GLI AUSPICI DEL CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE
ERETTA IN ENTE MORALE IL 3 FEBBRAIO 1910

LXI RIUNIONE ANNUALE DELL'A.E.I.

ANCONA - SENIGALLIA, 18-23 SETTEMBRE 1960

Elenco delle Memorie annunciate

1 Tema - TRASMISSIONE DELL'ENERGIA

1. Problemi generali del trasporto e della trasmissione dell'energia.

- GUIDI BUFFARINI G. - SCHINAIA C. - *Ripartizione di massima economia delle alimentazioni delle reti di trasporto.*
JUSTI - *Consistenza della rete italiana a 130 e 220 kV; interconnessione interna ed internazionale.*
GANDIN V. - *Considerazioni sullo sviluppo e sui risultati di esercizio della rete d'interconnessione italiana a 220 kV.*
PODESTÀ LUCCIARDI C. - *Note di esercizio sul collegamento fra la rete a 220 kV europea e la rete a 220 kV del Gruppo SIP.*
MÜLLER R. - MARIN R. - *Risultati ottenuti con l'interconnessione degli impianti elettrici nell'Europa Occidentale. Grandezze caratteristiche che intervengono nella regolazione di una rete. Prove sulle reti dell'Europa Occidentale per la determinazione delle grandezze stesse.*

2. Problemi elettrici e meccanici delle linee a corrente alternata fino a 220 kV.

- COLOMBO B. - STIZ M. - *Impiego del quadro calcolatore per lo studio delle linee di trasmissione dell'energia elettrica.*
PARIS - SANTI - *Il calcolo meccanico delle linee elettriche aeree eseguite con mezzi meccanografici.*
PERRONE A. - *Anime di acciaio per conduttori cordati di alluminio.*
FOLLI - *Considerazioni sulle vibrazioni dei conduttori di grande diametro.*
MAYER ZIOTTI F. - *La campata sperimentale di Valbondione.*
DASSETTO G. - *Comportamento meccanico di conduttori sottoposti a riscaldamento ripetuti.*
BETTA - FOLLI - *Contributo allo studio dei sistemi meccanici di tesatura e alla loro applicazione.*
MAGGI L. - *Considerazioni sulla scelta del tipo di palificazione e questioni annesse.*
SOTTOCOMMISSIONE ANIDEL N. 24B - *Considerazioni su di una rete di prove di vera grandezza su fondazioni a piedini per elettrodotto.*
PARIS - PEDONE - *Contributo allo sviluppo della tecnica delle fondazioni per grandi elettrodotto.*
VERGANI - *Criteri di modifica delle palificazioni nella trasformazione di linee da 60 a 130 kV.*
FERRETTI - *Risultati di prove su isolatori con inquinamento superficiale.*
ZAMORANI G. - COLOMBO G. - *Contributo sperimentale allo studio del problema dell'isolamento in atmosfera inquinata.*
FERZETTI S. - *Alluminio - plastica nelle reti b.t. avvenire.*
ARCANGELI P. - NOVELLI L. - SENONER O. - *Linee di distribuzione in cavi sospesi.*
PELAGATTI U. - DAVINI G. - *Cavi elettrici per media tensione isolati con cloruro di polivinile.*
MARCHESINI G. - *Cavi elettrici per media tensione isolati con gomme naturali e sintetiche.*
AGOSTINI R. - RIELLO G. - *Aspetti del problema degli impianti di terra nelle reti a media tensione.*
CATALIOTTI V. - *Sulla messa a terra del neutro nelle linee a media tensione.*
COLOMBO B. - FADDA U. - *Trasmissione dell'energia alla tensione di produzione a media e bassa tensione.*
PEDONE - *Considerazioni sui costi di costruzione dei grandi elettrodotto.*

FALOMO G. - *Confronto economico fra i trasporti di varie forme di energie.*

PARIS - SFORZINI - *Alcune considerazioni ed esperienze sulle perdite di energia per correnti parassite nelle funi di guardia degli elettrodotto.*

BAGALÀ E. - *Tendenze attuali nella costruzione delle stazioni elettriche.*

UGOLINI U. - *Protezioni elettriche delle stazioni di trasformazione e loro coordinazione con le protezioni delle linee elettriche.*

NEGRI - *Un contatore di perdite ohmiche in linee di trasmissione.*

FERRARIO M. - GUGLIORMELLA G. - *La manutenzione delle linee elettriche in tensione. Esperienze estere.*

CARRARA - CATENACCI - FORMICA - *Primi contributi del CESI allo studio dei problemi relativi al trasporto dell'energia elettrica.*

3. Tecnica delle linee a tensione superiore a 220 kV.

MAGGI L. - *Impostazione generale del problema delle altissime tensioni.*

DALLA VERDE - BERTOLOTI - *Il coordinamento degli isolamenti nei sistemi ad altissima tensione.*

ANTONIOLI P. G. - *Cassiniane e lemniscate negli elettrodotto ad altissima tensione.*

PRAMAGGIORE C. - PARIS - *Conduttori per altissime tensioni e questioni annesse.*

ANTONIOLI P. G. - *Determinazioni teoriche e rilievi sperimentali di effetto corona su elettrodotto ad altissima tensione.*

DORSCH H. - MERIGGI G. - *Le sollecitazioni causate dalle tensioni in esercizio e la loro importanza per il dimensionamento dell'isolamento negli impianti ad alta tensione.*

M.I.V.A. - *Studi e realizzazioni nel campo degli isolatori sospesi di vetro temperato per elettrodotto a tensione sino ed oltre 220 kV.*

SENG W. - *Progressi nella tecnica delle protezioni in relazione allo sviluppo del trasporto di energia ad altissima tensione.*

PALMIERI N. - *Cavi elettrici per trasporto di energia in sistemi trifasi a 400 kV.*

BRAMBILLA A. - *Caratteristiche fondamentali per le stazioni ad altissime tensioni.*

PARIS - *La linea a 380 kV Mese-Bovisio; criteri di progetto e prime realizzazioni.*

PARIS - REGGIANI - SFORZINI - *Le installazioni di misura per lo studio dei fenomeni corona sul tronco sperimentale della linea a 380 kV Mese-Bovisio. Primi risultati.*

DALLA VERDE - PETRINI - *Il sistema di trasmissione a 380 kV El Chocon-Buenos Ayres.*

4. Trasmissione dell'energia a corrente continua.

GAZZANA PRIAROGGIA P. - PALANDRI G. - *Considerazioni sulla trasmissione in cavo di corrente continua ad alta tensione.*

5. Funzionamento dei sistemi di trasmissione.

HENNING W. - LAZZARIN M. - *I ripartitori del carico ed i centri di comando di zona.*

PRIORI - OTTANI - VALTORTA - *Problemi tecnici ed aspetti economici della trasmissione della potenza reattiva.*

OTTANI G. - ALBANI G. - *Flussi energetici attivi e reattivi; rilievi statistici relativi ad una rete di trasporto.*

VALTORTA M. - *Ripartizione dell'energia reattiva.*

DALMAZZO R. - GUIRAUD G. - *Sulla regolazione automatica del fattore di potenza.*

BALLERINI P. - *Regolazione della trasmissione dell'energia attiva sull'anello Roma con l'impiego dei regolatori trasversali.*

GRESELIN A. - *Problemi di stabilità e di regolazione più strettamente connessi con il trasporto dell'energia ad alta tensione.*

- DELGROSSO - DUFOR - *Un moderno regolatore di tensione per macchine sincrone e la sua influenza sulla stabilità della trasmissione dell'energia ad una rete.*
- MELINOSI G. - *Sulla stabilità e le caratteristiche dei turbo-alternatori allacciati a lunghe linee di trasmissione.*
- GE E. - PELLASCHIAR M. - *Richiusura monofase e stabilità dei sistemi di trasmissione di energia ad alta tensione.*
- QUAZZA - SACCOMANNO - *La regolazione di frequenza nel quadro della regolazione delle reti interconnesse.*
- SEGRE - VALTORTA - *Marcia in parallelo delle reti elettriche.*
- ROMANO I. - *L'impiego dei condensatori nelle linee di trasmissione di energia.*
- MASSARI - SANI - *Esperienze sull'impiego di condensatori in serie su reti di distribuzione a media tensione.*
- ALFANO A. - *La determinazione delle correnti di corto circuito verso terra nelle grandi linee di trasmissione di energia.*
- LE BOEUF G. - *Problemi di segnalazioni e loro soluzione nelle reti francesi.*
- ROVA R. - *Problemi di sensibilità nella protezione contro i guasti verso terra delle reti a media tensione.*
- COLOMBO B. - FARINA C. - *Coordinamento delle protezioni per linee di trasmissione di distribuzione ad A.T. e M.T.*
- NOZZA G. - STIZ M. - *Alcune considerazioni anormali di servizio che possono influire sul comportamento degli scaricatori di protezione dei sistemi di trasmissione di energia ad alta tensione.*
- SASSANO M. - *Il controllo del funzionamento degli interruttori e dei relè di protezione della rete primaria realizzato mediante la centralizzazione delle segnalazioni.*
- ARIATTI F. - *Le perdite di trasmissione dell'energia elettrica. Riflessi sull'esercizio.*
- BOVE - GIACALONE - *Perdite di trasporto in reti funzionanti ad anello chiuso.*
- SASSANO M. - *La misura dell'angolo di fase per la localizzazione dei guasti sulle linee di trasmissione dell'energia.*

2 Tema - TRASMISSIONE DELLE INFORMAZIONI

1. Natura delle informazioni, mezzi per la loro trasmissione e problemi generali delle loro trasformazioni ai fini della trasmissione.

- BOZZONI E. - *Sul calcolo del potere informativo.*
- FEDERICI M. - *La capacità di informazione di un sistema direttivo per la rivelazione passiva della posizione di sorgenti di energia.*
- TAMBURELLO C. - *Il rapporto segnale-disturbo nei sistemi di trasmissione delle informazioni.*
- MANFRINO R. - *La ridondanza delle principali lingue occidentali e la sua influenza sulle telecomunicazioni.*
- CORRADETTI - *Considerazioni sulla statistica del disturbo di quantizzazione.*
- ALBARELLA G. - *Comparazione dei criteri di codificazione dati per un sistema di elaborazione accentrato.*
- ALBARELLA G. - *Considerazioni per una rete trasmissione dati ad alta velocità.*
- RICCIARDI C. - *Organizzazione dei servizi di telecomunicazione di una società elettrica.*
- SBARACCANI F. - *La trasmissione delle informazioni al servizio di una grande rete ferroviaria.*
- SINISCALCHI F. - *Considerazioni sui criteri di proporzionamento di moderni sistemi telefonici con particolare riguardo ai contributi di rumore.*
- DE LUCA L. - *Sistemi di trasmissione veloce di dati nella banda telefonica.*
- DELLA GIOVANNA C. - *La trasmissione della parola con metodo digitale.*
- SCHIAFFINO P. - *Influenza dei rumori sulla qualità della trasmissione telefonica.*
- VALZ S. - *Influenza delle perturbazioni sulla distorsione nei sistemi telegrafici a modulazione di frequenza.*
- BONAVOGLIA L. - *Caratteristiche del segnale multicanale di linea per la rete telefonica italiana a grande distanza.*
- CORRADETTI - *Un metodo di predizione planare per la codificazione di fotografie.*
- SAILER E. - *Ponti radio o circuiti ad alta frequenza su filo al servizio degli impianti elettrici?*
- SAIJA L. - GALLABRESI S. - *Trasmissione a distanza di comandi e informazioni.*
- TOLENTINO - RAIMONDI - *Criteri di sicurezza nella trasmissione di telecomandi su linee disturbate.*
- PAGANI - *Trasmissione di misure, comandi e segnali per il servizio movimenti di energia del Gruppo Edison.*

- SAIJA L. - MORRA P. G. - *Problemi di trasmissione di telecomandi e telemisure numeriche per oleodotti e gasdotti.*
- MORRA P. G. - OLIVIERI G. - *Trasmissione di dati per i calcolatori numerici impiegati nella supervisione a distanza di stazioni di pompaggio e misura di gasdotti.*

2. Problemi riguardanti le trasmissioni su linee fisiche.

- D'ADDIO E. - *Metodi per la trasmissione di segnali sui circuiti di giunzione.*
- SAILER - AIMINIO - *Attenuazione dei circuiti di telecomunicazione su filo elettrico.*
- MONELLI R. - *Cavi telefonici interurbani a coppie simmetriche in materiali plastici.*
- SANSONE L. - *Bicoppia a stella e bicoppie D.M. nei cavi in carta per alta frequenza.*
- RENO DI MARIO P. - *Circuiti con ammettenze addizionali concentrate regolarmente ricorrenti.*
- SCALISI A. - TANARI C. - *La rete telefonica della S. R. E. ed i criteri adottati per la automatizzazione.*
- LEGA L. - TOSI E. - *Cenni illustrativi sulla rete telegrafica delle F. S.*
- PARMEGGIANI G. - *Considerazioni sull'adattamento d'impedenza nella trasmissione guidata.*
- BUCCI I. - *Selezione di modi di propagazione in guida d'onda.*
- RUBINI R. - *Modulazione di ampiezza e modulazione angolare nei sistemi a frequenze vettrici.*
- BASINI B. - *Combinazione e selezione di oscillazioni guidate nella gamma 900-2300 MHz.*
- SEGRE - *Osservazioni circa l'influenza delle manovre di interruttori e sezionatori ad alta tensione sulle trasmissioni ad onde convogliate.*
- BRICCA F. - *Collegamenti telefonici ad onde convogliate sulla rete primaria delle F. S.*
- SCHIANNINI G. - *Modulazione delle correnti telefoniche da parte della corrente di alimentazione nei cavi contenenti coppie coassiali.*
- TAMBURELLO C. - *Trasmissione di impulsi a mezzo di linee coassiali.*
- MONELLI R. - *Coassiali di piccole dimensioni in polietilene espanso.*

3. Trasmissioni via radio.

- MONTI GUARNIERI G. - *Moderne realizzazioni di ponti radio a grande capacità di trasmissione.*
- VITI E. - *Moderni ponti radio a microonde di media capacità.*
- DAL COL G. - *Discriminatori per ponti radio.*
- PISTILLI A. - *Gli amplificatori molecolari ed il loro impiego nei ponti radio per telecomunicazioni.*
- RICAGNI A. - *Un grande ponte radio italiano in Australia.*
- BRUNO A. - *Raffronto tra propagazione in visibilità diretta e quella con interposizione di riflettori passivi in collegamenti radio terrestri (banda 7125-7450 MHz).*
- BRUNO A. - *Distorsioni per cammini multipli introdotte da ripetitori passivi.*
- BRUNO A. - *Propagazione a radio frequenza, banda 7125-7450 MHz su mare.*
- BRUNO A. - *Verifica delle attenuazioni supplementari per evanescenza nella propagazione a R. F. banda 7125-7450 MHz su terra.*
- MANCIANTI M. - SALARDI G. - *Sul recupero del contenuto informativo perduto dalle radio onde « smodulate » per effetto della riflessione ionosferica.*
- GILARDINI A. - FORMATO D. - *Studio su modelli a microonde della propagazione magneto-ionica di segnali VLF.*
- BONAVOGLIA L. - *Prove di radiopropagazione a 4000 Mp/s nella pianura padana su una tratta di lunghezza eccezionale.*
- SALMI F. - *Collegamenti radio al servizio F. S.*

4. Collegamenti con missili, radiosonde, satelliti e radio astronomia.

- SILLEN S. - *Sulla scelta delle onde elettromagnetiche per le trasmissioni con i veicoli spaziali e tra di essi.*

5. Trasformazione ai fini della trasmissione dei singoli tipi di informazione.

- ALBARELLA G. - *Memorizzazione dei dati in un sistema per elaborazione accentrata.*
- UCCELLI F. - *Trasduttori analogici digitali per macchine operatrici.*
- CAPRETTINI B. - *Apparecchiature per preparazione ed utilizzazione dati in una rete centralizzata.*

- CAPRETTINI B. — *Apparecchiature per trasmissione dati ad alta velocità.*
 TOLOTTI F. — *Informazioni trasmesse dai treni.*
 BERNASCONI - BLAETTLER - DE BENEDETTI — *La trasformazione di comandi e misure in segnali elettrici trasmissibili a distanza.*
 FERZETTI S. — *Trasformazione dell'energia ai fini della trasmissione di informazioni inerenti l'esercizio della rete elettrica di Parma.*
 NOTARI M. — *La trasmissione della informazione nel telecomando, e la sua trasformazione per la trasmissione nella elaborazione dei dati.*
 REMBADO A. — *Moderni sistemi ed apparati di telecomando e telemisura.*
 TAMBURELLI G. — *Trasmissione degli impulsi di teleselezione completamente statica sui sistemi a frequenze vettrici.*
 OLIVIERI G. — *Trasmissione a scansione ripetuta con circuiti di transistorizzazione per sistemi di supervisione.*
 SAIJA L. - MULASSANO M. — *Apparecchiature per la trasmissione di dati di telemisura con presentazione visuale e a stampa.*
 MUZIO A. — *Impianti di telecomando di sottostazioni elettriche per trazione realizzati dalle F.S. nell'ultimo quinquennio.*
 PROIA R. — *Considerazioni generali sui telecomandi delle sottostazioni di conversione delle F. S.*
 RICCI P. L. — *Esperimenti di trasmissione di informazioni tra dighe e centrali per mezzo di ultrasuoni attraverso le gallerie.*

NOTIZIE DELLE SEZIONI

SEZIONE DI NAPOLI

Venerdì 20 novembre 1959, l'ing. **Bauchiero**, Consigliere Delegato - Direttore Generale della Società Istrumenti di Misura CGS, ha tenuto una comunicazione dal titolo: « **Uno sguardo retrospettivo alla industria nazionale degli strumenti elettrici di misura** ».

L'oratore ha rievocato l'origine delle due principali industrie nazionali del settore: la Istrumenti di Misura CGS di Monza e le Officine Galileo di Firenze.

Per la prima di queste ha illustrato l'iniziativa presa nel 1896 dall'ing. Camillo Olivetti ad Ivrea, che creava una piccola azienda a carattere personale, col nome dello stesso fondatore; azienda che si trasformava in seguito in una società per azioni, contraddistinta con la sigla CGS.

Per la seconda di queste ha ricordato l'iniziativa presa nel medesimo anno 1896 a Firenze dall'ing. Giulio Martinez, entrato a far parte con l'ing. Pasqualini nella preesistente « Officina Galileo » che, dopo un anno, iniziava la fabbricazione di strumenti elettrici di misura.

L'oratore ha poi ricordato le successive iniziative di altri pionieri, quali: Arcioni, Allocchio e Bacchini per gli strumenti, Scarpa e Magnano per i trasformatori di misura. Dopo i pionieri dell'industria, l'oratore ha rievocato i principali maestri italiani nel campo delle misure elettriche, citando i

nomi e le opere di: Riccardo Arnò, Gino Campos, Dino Nobili, Emanuele Jona, Giovanni Giorgi, Enzo Pugno Vanoni, Francesco Vecchiacchi.

Dopo aver citato i maestri scomparsi, l'ing. Bauchiero ha mandato un saluto all'emerito prof. Angelo Barbagelata, che, presente in aula, è stato calorosamente festeggiato dall'uditorio.

Successivamente l'oratore ha dato uno sguardo retrospettivo alle caratteristiche degli strumenti e dei trasformatori di misura, mettendo in evidenza l'evoluzione delle loro forme costruttive ed in particolare la tendenza alla riduzione del peso e delle dimensioni di ingombro degli strumenti di misura ed i perfezionamenti introdotti nella progettazione dei trasformatori di misura.

Nel campo della precisione che si raggiunge attualmente nei trasformatori di misura, l'ing. Bauchiero ha ricordato gli ottimi risultati raccolti dal ciclo di misure per la taratura di precisione dei trasformatori di tensione, che l'AEI indisse nel 1950 in occasione della 51^a Riunione annuale di Bologna.

L'ing. Bauchiero ha infine parlato dell'industria nazionale dei contatori elettrici e del grande sviluppo assunto da questa nell'ultimo ventennio. Ha poi messo in evidenza le caratteristiche tecniche dei moderni contatori ed ha brevemente illustrato la recente iniziativa della CGS con la creazione di un nuovo stabilimento a Casoria, intitolato al nome di Giancarlo Vallauri.

Al termine della comunicazione è stato proiettato un breve film documentario a carattere didattico sulla fabbricazione degli apparecchi di misura, e l'oratore, è stato vivamente applaudito.

✱

Sabato 21 novembre 1959, nel pomeriggio, i soci della Sezione di Napoli hanno visitato in Casoria il **nuovo stabilimento della CGS « Giancarlo Vallauri »**. La visita, cui sono intervenuti numerosissimi soci, si è protratta a lungo ed i visitatori si sono vivamente interessati di tutta la lavorazione dei contatori elettrici ed, in particolare, delle operazioni di controllo e taratura. Al termine della visita è stato offerto un rinfresco.

✱

Venerdì 27 novembre 1959, il dr. ing. **Vincenzo Gori** della Marelli S.p.A. Milano ha tenuto una comunicazione sul tema: « **Sollecitazioni ad impulsi negli avvolgimenti a spire intercalate** ».

L'oratore, dopo aver presentato brevemente l'argomento, ha tracciato un quadro riassuntivo della teoria delle prove ad impulso sui trasformatori e con grande chiarezza ha dimostrato l'importanza ai fini della sicurezza di esercizio che ha un trasformatore con avvolgimenti a spire intercalate, il quale risulta praticamente un'apparecchiatura di sicuro impiego e di ottimo rendimento in quanto sopporta in modo veramente egregio le sollecitazioni impulsive che possono investire l'impianto.

Gli intervenuti, per la massima parte tecnici dell'esercizio, al termine della conferenza, illustrata da numerosissime proiezioni, hanno rivolto diverse domande all'oratore che, alla fine, è stato vivamente applaudito.

COMITATO ELETTROTECNICO ITALIANO

Riunioni dei Sottocomitati e delle Commissioni di Studio del CEI avvenute nel mese di Febbraio 1960.
presso la sede del CEI o in altra sede specificata

1^o febbraio, ore 10 - Sottocomitato 107 « *Apparecchi utilizzatori* » - Commissione « *Piccoli trasformatori di sicurezza* »; presiede prof. dr. ing. C. Volpi.

— Definizioni - Scopo delle Norme - Tensioni secondarie di utilizzazione.

2 febbraio 1960, ore 15 - Sottocomitato 40 « *Componenti per apparecchiature elettroniche* » - Gruppo di Lavoro della Commissione 40-5 « *Prove climatiche e meccaniche* »; presiede dr. ing. H. Mayr.

— Revisione Norme 40-1 « *Prove climatiche e meccaniche* ».

8 febbraio, ore 15, presso Soc. Orobia (Foro Buonaparte 16, Milano) - Sottocomitato 11 « *Impianti* » - Commissione « *Impianti di messa a terra* »; presiede prof. E. Bottani.

— Esame delle osservazioni pervenute a seguito di inchiesta pubblica al progetto Norme « *Impianti di messa a terra* » S.166.

11 febbraio, ore 14,30 - Sottocomitato 10 « *Oli* » - Riunione plenaria; presiede dr. ing. T. Leardini.

1) Esame osservazioni pervenute al progetto S.167 - Variante alle Norme 10-1 « *Oli isolanti per trasformatori ed apparecchiature elettriche* ».

2) Relazione sulla riunione del Sottocomitato permanente Oli della IEC, tenuta a Milano nei giorni 7 e 8 settembre 1959, e sulla riunione del Comitato di lavoro per gli Oli isolanti della CIGRE dei giorni 9 e 10 settembre.

3) Esame dei risultati del primo ciclo di prove di alterabilità degli oli lubrificanti col metodo proposto dalla IEC per gli oli isolanti.

11 febbraio, ore 15 - Sottocomitato 11 « *Impianti* » - Comitato di Redazione della Commissione 11/11 « *Impianti nei*

locali con pericolo d'incendio e di esplosione»; presiede dr. ing. G. E. Niccoli.

— Trasformatori per impianti antideflagranti.

12 febbraio, ore 9,15 - Sottocomitato 20 «Cavi» - Riunione plenaria; presiede dr. ing. A. Gulinello.

— Esame bozza finale (6a) del progetto di Norme CEI sui «Cavi per energia isolati in carta impregnata».

15 febbraio, ore 10,30, a Genova presso Registro Italiano Navale (via XX Settembre 8) - Sottocomitato 18 «Impianti di bordo» - Riunione plenaria; presiede dr. ing. G. Sadowsky.

1) Delegazione italiana alla prossima riunione di Tours del Comitato Tecnico 18 IEC.

2) Discussione Norme internazionali sulla propulsione elettrica.

3) Discussione Norme internazionali sugli impianti elettrici delle navi petroliere.

15 febbraio, ore 15,30 - Sottocomitato 107 «Apparecchi utilizzatori» - Commissione «Piccoli trasformatori di misura»; presiede prof. dr. ing. C. Volpi.

— Proseguimento delle generalità.

16 febbraio, ore 15 - Sottocomitato 40 «Componenti per apparecchiature elettroniche» - Gruppo di lavoro.

— Campionatura a base probabilistica.

18 febbraio, ore 10 - Sottocomitato 41 «Relè» - Riunione plenaria; presiede prof. ing. A. Parrini.

1) Notizie sulla riunione IEC di Parigi del 19 ottobre 1959.

2) Collegamento del Sottocomitato 41 CEI con il gruppo «Apparecchiature» MEC dell'ANIE per quanto riguarda i relè.

3) Programma di revisione delle Norme nazionali.

18 febbraio, ore 10,30 - Sottocomitato 18 «Impianti di bordo» - Commissione 18-2 «Apparecchi di protezione»; presiede prof. dr. ing. S. B. Toniolo.

— Preparazione incontro internazionale di Tours (9-13 maggio p. v.).

19 febbraio, ore 9 - Sottocomitato 103 «Telefonia» - Commissione C «Onde convogliate» - Gruppo di Redazione; presiede dr. ing. E. Sailer.

— Esame sulle caratteristiche in alta frequenza delle bobine di sbarramento per impianti a onde convogliate.

23 febbraio, ore 14,30 - Sottocomitato 13/38 «Strumenti di Misura - Trasformatori di misura» - Commissione «Contatori»; presiede dr. ing. L. Bosio.

— Rifacimento fascicolo Norme n. 71 «Contatori elettrici a induzione» - edizione 1952.

24 febbraio, ore 14 - Sottocomitato 32 «Fusibili» - Riunione preliminare Commissione ristretta «Fusibili A.T.»; presiede dr. ing. T. Leardini.

— Programma prove fusibili A.T.

25 febbraio, ore 10 - Sottocomitato 15 «Materiali isolanti» - Riunione plenaria; presiede prof. ing. P. Regoliosi.

1) Discussione attività delle varie Commissioni del Sottocomitato 15 - Revisione componenti.

2) Discussione e modifiche del progetto Norme sui «Tubi laminati».

3) Esame progetti Norme del Comitato Tecnico 15 IEC.

4) Prossima riunione del Sottocomitato 15 fine marzo 1960.

27 febbraio, ore 10,30 - Sottocomitato 29 «Elettroacustica» - Riunione plenaria; presiede prof. ing. G. Sacerdote.

1) Relazione sui lavori in corso.

2) Partecipazione alla prossima riunione del Comitato Tecnico 29 IEC a Rapallo dal 4 al 9 aprile p. v.

27 febbraio, ore 15 - Sottocomitato 29 «Elettroacustica» - Commissione «Altoparlanti»; presiede prof. ing. E. Paolini.

1) Esame bozza di Norme IEC «Prove sugli altoparlanti».

2) Espletamento esame bozza Norme italiane CEI.

✱

Nota illustrativa al progetto dei segni grafici per gli impianti idroelettrici

Si è ritenuto opportuno da parte del Sottocomitato n. 3, di affiancare ai fascicoli già pubblicati delle Norme CEI, relativi ai segni grafici ed agli schemi della porzione elettrica degli impianti di produzione e di utilizzazione della energia, altri fascicoli di Norme destinati specificatamente ai segni grafici ed agli schemi della porzione termica e, rispettivamente, idraulica degli impianti di energia. A tal fine, in seno al Sottocomitato n. 3 venne costituita una Commissione Mista che si è occupata della preparazione dei predetti fascicoli.

Il fascicolo che ora si presenta all'inchiesta pubblica è quello dei «Segni e Schemi grafici per gli Impianti Idroelettrici».

Non si è preteso di fornire una visione completa ed esauriente di tutte le possibili varianti concettuali e costruttive; si è voluto rendere familiari e diffondere i segni grafici più significativi sinora usati e proposti al fine di contribuire ad una loro adozione più generalizzata nel campo delle raffigurazioni grafiche di produzione di energia.

Si invitano tutti coloro che hanno ed avranno occasione di valersi del presente progetto di Norme, durante il periodo dell'inchiesta pubblica, di voler inviare le eventuali proposte di varianti o di aggiunte alla Segreteria Generale del CEI, via San Paolo 10, Milano.

Il Presidente
del Sottocomitato 3
A. RIGHI

Il Presidente della
Commissione Mista
M. MEDICI

✱

Riunione del Sottocomitato 12-7 (Prove Climatiche) del Comitato Tecnico 12 (Radiocomunicazioni) della IEC (International Electrotechnical Commission)

(Ulm, 30 settembre - 6 ottobre 1959)

Nei giorni dal 30-9 al 6-10-1959 si è riunito ad Ulm sotto la Presidenza del dr. M. Cuning (Gran Bretagna) il Sottocomitato 12-7 (Prove climatiche) del Comitato Tecnico 12 (Radiocomunicazioni) della IEC (International Electrotechnical Commission).

Brano presenti Delegati di 13 Paesi, ed il Comitato Elettrotecnico Italiano era rappresentato dal prof. E. De Castro.

Il Sottocomitato, di recente costituzione, era alla sua prima riunione, la quale ha soprattutto servito a far conoscere mutuamente i partecipanti ai lavori.

È stato discusso il documento del Segretariato, preparato dal Sottocomitato 12-6 (Radiotrasmettitori), riguardante le prove climatiche e di robustezza meccanica dei radiotrasmettitori, ed è stato deciso di eseguire una seconda bozza che tenga conto dei numerosi commenti ricevuti, e di una diversa impostazione del problema delle prove climatiche e meccaniche suggerita dalla Delegazione Francese.

È stato pure deciso di invitare il Comitato Tecnico 12 ad emettere una risoluzione di carattere generale per coordinare tutte le prove climatiche e di robustezza delle apparecchiature elettroniche.

È stata prevista la prossima riunione fra circa un anno, possibilmente in coincidenza con quella del Sottocomitato 40-5 (Condensatori e Resistori) del Comitato Tecnico 40 (Componenti elettronici).

E. P.

✱

Riunione del Comitato Tecnico 12 (Radiocomunicazioni) della IEC (International Electrotechnical Commission)

(Ulm, 9 ottobre 1959)

Sotto la Presidenza del prof. Besson (Francia) si è riunito ad Ulm il Comitato Tecnico 12 (Radiocomunicazioni) della IEC (International Electrotechnical Commission).

Brano presenti i Delegati dei seguenti paesi: Austria, Belgio, Cecoslovacchia, Danimarca, Finlandia, Francia, Giappone, Germania Occ., Gran Bretagna, India, Italia, Norvegia, Olanda, Polonia, Svezia, Svizzera, Stati Uniti, Ungheria ed Unione Sovietica. Il Comitato Elettrotecnico Italiano era rappresentato dai professori C. Egidi ed E. Paolini.

Nella sua unica riunione il Comitato Tecnico 12 ha passato in rassegna i lavori svolti dai suoi Sottocomitati n. 1, 2, 6 e 7, fra i quali il Sottocomitato 1 spicca per mole di lavoro e per numero di testi sottoposti alla regola dei sei mesi.

È stato rammentato che i vari Sottocomitati del Comitato Tecnico 12 richiedono uno stretto collegamento con altri Comitati Tecnici, assicurato spesso dalla identità dei delegati alle riunioni; e ciò consiglia di fissare le riunioni dei corrispondenti Comitati Tecnici e Sottocomitati in modo che esse abbiano luogo nelle medesime città e in periodo di tempo comune.

Questa necessità ha suscitato animate discussioni circa la possibilità o meno di accettare l'invito dell'India a tenere la prossima riunione a Nuova Delhi.

Fra gli argomenti d'interesse generale, introdotti nella riunione in oggetto, va rammentato quello della riorganizzazione dei Comitati Tecnici riguardanti la radio e l'elettronica: si prospetta di aumentare fino a 9 gli attuali 5 Comitati Tecnici. La questione verrà comunque dibattuta a Parigi alla fine di gennaio del 1960 a cura del Comitato Consultivo per l'Elettronica della IEC, di cui è stata promossa la nuova costituzione, mentre le relative proposte verranno sanzionate a Ginevra dal Comitato d'azione nel successivo mese di marzo.

Il suddetto Comitato Consultivo per l'Elettronica, in presenza di osservatori del CCIR e della UER, discuterà il problema di normalizzare la radiodiffusione stereofonica, secondo l'opportuna richiesta del Comitato Nazionale Tedesco, preoccupato di dare alla propria industria tempestive e convenienti direttive da seguire nelle proprie costruzioni.

E. P.

NECROLOGI

Il 1° settembre 1959 è improvvisamente mancato in età di anni 43 il

dr. ing. LUIGI MARTINELLI

Dirigente della Zona di Distribuzione di Brescia della Società Elettrica Bresciana.

Al termine del servizio militare, compiuto come ufficiale di fanteria durante l'intero periodo bellico, si era laureato brillantemente in ingegneria elettrotecnica, nel 1946, presso la Università di Padova entrando subito a far parte dei quadri della Società Elettrica Bresciana.

Ebbe così modo di porre in evidenza le sue spiccate doti di tecnico e di organizzatore: venne in breve destinato a funzioni direttive nel settore della distribuzione, funzioni che assolse con impegno, competenza ed equilibrio presso la zona di Pisogne e presso la filiale di Cremona.

Promosso Dirigente divenne responsabile di una delle più importanti zone di distribuzione della Società.

Giovane di superiori doti di cuore e di intelletto, di carattere cordiale ed aperto, amato e stimato da colleghi e collaboratori, era destinato ad un avvenire brillante.

La sua improvvisa scomparsa ha suscitato in tutti largo rimpianto e rappresenta una grave perdita per la famiglia della Bresciana.

Alla fine del conflitto, ritornato nel suo Trentino, ad esso cordoglio e di tutti coloro che lo conobbero e stimarono.

* *

Il 12 agosto 1959 si spegneva improvvisamente il

dr. ing. CARLO DE RICCABONA

da tanti anni attivo socio dell'AEI.

Nato a Cles (Trento) nel 1888, si laureò nel 1912, al Politecnico di Milano, in ingegneria civile. Prese parte inizialmente ai lavori di ricostruzione di Messina fino al maggio 1915 quando si arruolò volontario e prese parte attiva alla guerra di redenzione, prima come tenente e poi come capitano del Genio telegrafisti, distinguendosi su vari fronti.

Alla fine del conflitto, ritornato nel suo Trentino, ad esso dedicò tutta la sua attività di tecnico.

Fu, con l'ing. Bonfioli, fra i pionieri dello sfruttamento idroelettrico della regione: a loro sono dovuti i primi studi e progetti: a loro l'idea di costruire una società, che fu la Società Generale Elettrica Tridentina, per realizzarli.

Il primo impianto fu quello di Pinè-Pozzologo, entrato in attività nel 1927. Ottenuta la concessione del torrente Noce la SGET, divenuta poi Cisalpina, iniziò nel 1927 lo sfruttamento di quelle acque: l'ing. de Riccabona diede tutta la sua intelligenza e appassionata attività come Direttore dei lavori dell'impianto di Mezzocorona; successivamente, alle dipendenze della Società Edison, quale dirigente dell'Ufficio di Trento, a quello grandioso di S. Giustina-Taio e, infine, a quello di Pian Palù in Val di Peio.

La medaglia d'oro della Società Edison gli esprime, nel 1953, il riconoscimento della Società per i lunghi anni di costante, efficace collaborazione in posizione di responsabilità.

La sua improvvisa dipartita ha lasciato un vuoto profondo nella Associazione Elettrotecnica Italiana, Sezione di Trento, che lo ha avuto come Presidente e attivo Consigliere e che si associa al lutto e al rimpianto della famiglia e di quanti ebbero a conoscerlo.

ATTIVITÀ DELLE SEZIONI

SEZIONE ADRIATICA (Palazzo TIMO - Ancona).

27 febbraio 1960 - ore 15,30 in prima convocazione e ore 16 in seconda convocazione — Assemblea generale ordinaria.

SEZIONE DI BOLOGNA (Viale Risorgimento, 20).

30 gennaio 1960 - ore 18,30 — Comunicazione del prof. ing. Rigo RIGHI, sul tema: « Logica e tecnica ».

20 febbraio 1960 - ore 17,30 — Conferenza del capitano dr. Ottavio VITTORI, sul tema: « Il meccanismo dei fenomeni elettrici dell'atmosfera ».

SEZIONE DI FIRENZE (Via Valfonda, 9).

8 febbraio 1960 - ore 21 — Al Circolo Selt-Valdarno proiezione dei seguenti films: « Il fiume pietrificato - « A » vuol dire atomo - Il futuro comincia oggi - Centrali idroelettriche ».

SEZIONE DI GENOVA (Piazza Fontane Marose, 6).

5 febbraio 1960 - ore 21 — Serata cinematografica con la presentazione di documentari tecnici relativi all'industria elettrica ed all'industria siderurgica.

SEZIONE DI MILANO (Via S. Tomaso, 3).

30 gennaio 1960 - ore 9 — Visita agli stabilimenti della Società Innocenti.

3 febbraio 1960 - ore 21 — Conferenza del prof. R. LANGLOIS-BERTHELOT, sul tema: « L'état actuel du problème de la spécification et des conditions d'emploi des transformateurs en service ».

SEZIONE DI NAPOLI (Via Mezzocannone, 16).

18 dicembre 1959 - ore 18,15 — Conferenza del dr. ing. Giorgio CATENACCI, sul tema: « Come si prova un interruttore? (Considerazioni sul progetto delle nuove Norme CEI) ».

29 dicembre 1960 - ore 18,15 — Conferenza del dr. Luigi FARESE, sul tema: « Nuovi mezzi per la elaborazione dell'informazione: ELEA 9003 ».

5 febbraio 1960 - ore 18,15 — Conferenza del dr. ing. Carlo MASSARO, sul tema: « Tecniche di programmazione per problemi scientifici ».

12 febbraio 1960 - ore 18,15 — Conferenza del prof. ing. Giorgio SAVASTANO, sul tema: « Gli oscillografi a memoria elettrostatica ».

19 febbraio 1960 - ore 18,15 — Conferenza del dr. ing. Giuseppe FODDIS, sul tema: « Sopra un problema morfologico delle reti interurbane ».

SEZIONE DI ROMA (Via Giolitti, 34).

14 gennaio 1960 - ore 18,30 — Conferenza del dr. ing. Silvio BARGOZZI, sul tema: « Attualità e prospettive nel progetto e nella costruzione dei turboalternatori ».

28 gennaio 1960 - ore 18,30 — Conferenza del dr. ing. Gianfranco FRANCO, sul tema: « Descrizione e scopo del Centro di Ispra ».

SEZIONE DI TORINO (Via Giolitti, 1).

27 gennaio 1960 - ore 21 — Conferenza del dr. ing. Francesco SCANDONE, sul tema: « Sistema di teleguida per missili ». La conferenza è stata illustrata da proiezioni.

SEZIONE DI TRIESTE (Via Annunziata, 7).

11 febbraio 1960 - ore 21 — Riunione mensile per la realizzazione della gita sociale tecnico-turistica.

PARTE SECONDA

DOCUMENTAZIONE

SOMMARIO

SUNTI E SOMMARI

Pag. 25 D

Apparecchi e dispositivi di manovra, di regolazione, di protezione ecc. — Applicazioni varie — Convertitori, raddrizzatori ecc. — Elettrofisica e magnetofisica — Elettrotecnica generale — Generatori e motori sincroni — Impianti — Trasformatori — Trazione e propulsione.

SUNTI E SOMMARI

APPARECCHI E DISPOSITIVI DI MANOVRA, DI REGOLAZIONE, DI PROTEZIONE, ECC.

A. Leonhard — **Esistono vantaggi nell'uso di elementi non lineari nei circuiti di regolazione?** (E.u.M., 1° novembre 1959, pag. 489 a 495, con 15 fig.). 3 f

L'A. inizia la trattazione esaminando dal punto di vista teorico l'effetto di elementi non lineari impiegati nei circuiti di regolazione. Viene trattato il problema se la non linearità sia in linea di massima svantaggiosa nella soluzione dei problemi che si incontrano nella tecnica della regolazione, o se, al contrario, possa offrire determinati vantaggi. Viene successivamente mostrato come, attraverso una scelta appropriata di elementi non lineari si possano raggiungere condizioni di regolazione particolarmente favorevoli. Alla domanda quindi se esistano vantaggi nell'uso di elementi non lineari nei circuiti di regolazione può essere risposto in via generale che la non linearità rende più difficile il calcolo, ma fornisce interessanti problemi dal punto di vista teorico nonché notevoli possibilità dal punto di vista pratico e applicativo. Si conclude in definitiva che, in generale, la non linearità non è affatto svantaggiosa nei problemi inerenti alla regolazione.

A.C.

V. Kussl — **Introduzione alla tecnica della regolazione per mezzo dell'uso di trasformazioni funzionali.** (E.u.M., 1° novembre 1959, pag. 495 a 510, con 23 fig.). 3 f

L'A. descrive per i sistemi lineari il fenomeno della regolazione per mezzo dell'equazione fondamentale della tecnica della regolazione. Non esiste una teoria chiusa per sistemi non lineari, per quanto siano noti metodi per trattare particolari problemi non lineari. Sono soprattutto di grande utilità regolatori con comportamento non lineare, poiché permettono un processo di regolazione rapido e tuttavia smorzato. Le espressioni che caratterizzano i vari elementi del circuito di regolazione sono state ricavate per mezzo della teoria del quadripolo. L'uso della teoria del quadripolo permette di evitare difficili equazioni differenziali. Le funzioni quadripolari sono funzioni del parametro della frequenza p . Le grandezze che intervengono dall'esterno invece, sono funzioni del tempo t . Poiché in un'equazione possono comparire solo funzioni di un argomento, viene usata la trasformazione di Laplace come particolare trasformazione funzionale. La stabilità, fattore importantissimo nella tecnica della regolazione, viene esaminata dal punto di vista dell'equazione fondamentale. Vi sono inoltre molte altre possibilità per trarre considerazioni in merito alla stabilità, quale ad esempio il teorema di Nyquist. L'A. continua illustrando il decisivo miglioramento apportato in questi ultimi tempi alla tecnica, di per sé antica, della regolazione, ed affermando che l'impulso maggiore è stato dato dalla tecnica delle comunicazioni. Non c'è nulla di più pratico infatti, come aggiunge l'A. a conclusione del suo articolo, di una buona teoria.

A.C.

APPLICAZIONI VARIE

H. Graf — **L'elettricità negli apparecchi medicali.** (E.T.Z. (B), 21 luglio 1959, pag. 275 a 277). 6 b

L'A. definisce il campo d'applicazione degli apparecchi medicali, destinati ad apportare energia elettrica a persone per

scopi terapeutici o diagnostici, ed a misurare e registrare fenomeni, che si verificano in organi viventi. Inoltre con tali apparecchi si applicano campi elettrici e magnetici in corpi viventi, come si verifica nella comune terapia a onde corte, e infine si ha l'impiego di radiazioni elettromagnetiche, come raggi infrarossi, luminosi, ultravioletti e X. A complemento di tale campo d'azione si ha anche l'impiego di radiazioni corpuscolari, soprattutto di raggi elettronici, nonché di gas o vapori con cariche elettriche per scopi vari, ad esempio inalazioni. Con un'esposizione storica viene mostrato come le scoperte nell'ambito dell'elettricità abbiano trovato sempre più larga applicazione anche nel campo medicale. Infine viene accennato agli sforzi compiuti in collaborazione da medici ed ingegneri nel campo internazionale per estendere sempre più le applicazioni elettromedicali.

Ti.

H. Berger - R. Schittenhelm — **Radiazioni energetiche nel campo medicale.** (E.T.Z. (B), 21 luglio 1959, pag. 278 a 281, con 6 fig.). 6 b

Nella terapia con radiazioni è necessario effettuare una quanto più possibile precisa concentrazione delle radiazioni sul focolaio patogeno: questo si ottiene attualmente, meglio che con gli apparecchi a raggi X, con le radiazioni molto energetiche di acceleratori di particelle e di isotopi radioattivi. Invero i tessuti sani non devono venire colpiti da tali radiazioni di parecchi MeV, poiché ne risulterebbero distrutti. Mentre i raggi X, specialmente nel caso di radiazioni mobili, consentono una quasi perfetta concentrazione dell'effetto della radiazione su focolai patogeni profondi, la radiazione elettronica, per la sua portata limitata, meglio si presta a trattamenti superficiali. Gli AA. descrivono alcuni apparecchi per l'applicazione di radiazioni energetiche, come gli acceleratori lineari e i betatroni; viene accennato anche all'impiego degli isotopi radioattivi.

Ti.

SERVIZIO DOCUMENTAZIONE

L'A.E.I. è in grado di fornire ai propri Associati per gli articoli pubblicati su alcune centinaia delle più importanti riviste italiane ed estere:

- fotocopie nero su bianco: a pagina L. 250
- microfilm (24×36): per fotogramma (minimo 5 fotogrammi) L. 70
- traduzioni (prezzi da convenirsi).

Le traduzioni vengono consegnate entro tre mesi. Precisare se si desiderano le traduzioni entro termini più ristretti.

Ai prezzi come sopra calcolati, vanno aggiunti per spese di ricerca delle pubblicazioni e di segreteria, L. 500 per ogni articolo, più le spese postali di raccomandazione e le tasse.

Le richieste di fotocopie, microfilm o traduzioni, devono indicare chiaramente e per esteso: il nome della pubblicazione, la data di edizione (se si tratta di rivista), il nome dell'autore, il titolo e, se possibile, il numero della pagina d'inizio.

R. Wideröe — L'impiego del betatrone nella radiologia medica. (E.T.Z. (B), 21 luglio 1959, pag. 281 a 285, con 6 fig.). **6 b**

L'A. tratta della terapia con raggi X e con particelle elettroniche, le cui energie sono nell'ambito di milioni di eV. Da un breve panorama storico dello sviluppo di queste applicazioni, si nota la tendenza ad adottare valori energetici sempre più elevati. Da curve per radiazioni penetranti, risulta che i raggi X devono avere valori da 15 a 30 MeV e che le radiazioni elettroniche vanno comprese tra 5 e 35 MeV, affinché si possano trattare tutte le sorta di tumori sino alle maggiori profondità. L'impiego di elettroni fortemente accelerati ha dato particolarmente buoni risultati. Come generatore di energia per 35 MeV, si impiega ora il betatrone nonché l'acceleratore lineare, ma il primo è molto più conveniente e di funzionamento sicuro. A questo riguardo l'A. descrive un impianto moderno di betatrone, con dispositivo per indicazioni diagnostiche, dotato di tubo per raggi X da 125 kV. **Tt.**

H. Mohr — L'amplificatore per radioscopie medicali. (E.T.Z. (B), 21 luglio 1959, pag. 286 a 290, con 8 fig.). **6 b**

Nell'esecuzione di radioscopie, una delle maggiori difficoltà è costituita dalla scarsa luminosità dello schermo, dovuta al fatto che tanto il paziente quanto il medico non possono essere sottoposti a forti radiazioni; in tal modo riesce difficile l'analisi della radioscopia. Per attenuare questo inconveniente, si ricorre all'impiego di amplificatori, di cui si occupa particolarmente l'A. nel suo articolo. Viene indicata la costruzione di essi, viene analizzato il fattore di amplificazione e viene esposto il potere risolutivo ottenibile. Vengono poi passati in rassegna i diversi impieghi per applicazioni medicali, specialmente per scopi diagnostici. Con questo dispositivo è poi possibile fare riprese cinematografiche con raggi X: sinora questo procedimento è stato applicato a film a passo normale e ridotto di 16 mm. Con i primi si hanno migliori risultati, poichè si può osservare il film già durante la ripresa. Questo tipo di cinematografia viene usato specialmente a scopo didattico: si possono ritrarre le principali funzioni dei diversi organi e si può mostrare quando la loro attività è normale e quando invece si sviluppano stadi patologici. Il grande rinforzo di luminosità, dovuto all'amplificatore, consente di trasmettere le radioscopie anche per televisione. **Tt.**

W. Fussangel - O. Schott - K. Ungerer — Problemi della automazione di irradiazione nella diagnostica con raggi X. (E.T.Z. (B), 21 luglio 1959, pag. 290 a 294, con 8 fig.). **6 b**

Oltre ai principali compiti delle apparecchiature per raggi X, quali la produzione di alta tensione, la ripresa di rapide radiografie e la protezione contro sovraccarichi dei relativi tubi, acquistano sempre più importanza i problemi di comando e regolazione. Ma il problema principale è quello del raggiungimento di un costante oscuramento nelle riprese di radiografie, indipendentemente dalle caratteristiche dell'oggetto, dai dati elettrici di ripresa e da tutti i possibili disturbi di funzionamento. Questo problema viene risolto con un dispositivo di automazione dell'irradiazione. Gli AA. descrivono innanzi tutto i diversi sistemi per ottenere tale automazione e trattano in particolare dei problemi tecnici di singoli elementi costruttivi del dispositivo, come la camera di ionizzazione, l'amplificatore e l'elemento di inserzione e disinserzione; l'amplificatore è un tipo speciale di misuratore a corrente continua con forte resistenza ohmica d'entrata. Come elemento di inserzione, viene indicato un complesso protettivo a comando elettrico, che può disinserire in pochi millesimi di secondo la sorgente di raggi X. **Tt.**

R. M. Kiel — Apparecchi stampatori ad alta velocità. (Elec. Eng., ottobre 1959, pag. 1026 a 1030, con 7 fig.). **6 b**

Con l'avvento delle calcolatrici elettroniche, e di altri analoghi dispositivi si è accentuato il bisogno di dispositivi di scrittura rapidissimi per registrare i dati raccolti. Si può dire che le possibilità di registrazione scritta non hanno seguito lo sviluppo delle capacità di raccogliere le informazioni; i dispositivi elettromeccanici hanno ormai raggiunto i limiti delle loro possibilità. L'A. riferisce su nuovi dispositivi basati sulla tecnica elettrostatica. L'apparecchio tipo consiste in una fila di 7 elettrodi che ogni microsecondo possono imprimere 7 punti su un nastro di carta; questo

viene fatto passare in un bagno di inchiostro e su un rullo fissatore a caldo dopo di che appaiono nettamente i punti segnati. Il nastro è costituito di una carta speciale ma poco costosa coperta da un sottilissimo strato di materiale ad alta resistività, per es. polietilene e viene fatto scorrere su un rullo buon conduttore, con la faccia isolante rivolta verso l'alto: a piccolissima distanza dal foglio si trovano delle piccole punte metalliche e fra queste e il rullo viene applicata una differenza di potenziale di 1000 V: si verifica un flusso di elettroni parecchi dei quali rimangono captati dalla superficie del dielettrico posato sulla carta. Quando questa passa nel bagno di inchiostro, esso aderisce soltanto ai punti caricati; la carta viene poi essiccata scorrendo su un rullo a circa 200 °C e si ottiene la registrazione permanente. Su questa base sono stati costruiti apparecchi con 72 teste scriventi. Si arriva normalmente a una velocità di scrittura di 3000 parole al minuto perchè il tempo di deposizione della carica statica è dell'ordine di un microsecondo. Con qualche accorgimento la velocità di registrazione può essere portata a 30000 parole al minuto. La tecnica descritta può essere largamente applicata in molti campi. Fra l'altro è citata la applicazione a oscillografi multipli, a trasmissione di notizie meteorologiche ecc. **N.**

K. Franke - E. Gulden - H. Heuse — Meccanismo calcolatore elettro-meccanico per radiografie diagnostiche. (E.T.Z. (B), 21 luglio 1959, pag. 294 a 297, con 8 fig.). **6 b**

Ogni apparecchio per raggi X è dotato di dispositivo per la scelta del valore di irradiazione necessario per l'esecuzione delle diverse radiografie, col minimo concorso di operazioni manuali. Questa semiautomazione ha poi lo scopo di proteggere i tubi per raggi X contro sovraccarichi. Gli AA. descrivono un nuovo tipo di dispositivo realizzato per questo scopo, costituito da un meccanismo calcolatore elettromeccanico, col quale si può tener conto facilmente di tutti i dati necessari per ottenere la radiografia. La parte meccanica del complesso lo rende robusto: lo stesso non richiede praticamente alcuna sorveglianza. **Tt.**

H. Morneburg - R. Präg — Procedimento di esplorazione per stabilire la distribuzione di elementi radioattivi incorporati. (E.T.Z. (B), 21 luglio 1959, pag. 298 a 302, con 8 fig.). **6 b**

Un mezzo moderno diagnostico è costituito dai materiali radioattivi, sul cui impiego è riferito dagli AA., che illustrano anche gli apparecchi usati a questo scopo. In questa tecnica si possono considerare due scopi: uno dei quali utilizza l'effetto diretto sulla materia circostante, mentre l'altro si basa solo sulla constatazione della presenza della irradiazione; naturalmente nell'un caso e nell'altro si deve effettuare la misura della relativa intensità. Un esempio del primo gruppo di impiego è l'irradiazione effettuata su gruppi di materiali, di guisa che si realizzano in essi nuove caratteristiche a cagione di modifiche nella loro costituzione. Ma più vaste sono le applicazioni del secondo gruppo, come prova dei materiali. Per impiegare radiazioni in diagnostica, occorre inoculare nel paziente corpi radioattivi, il che si può effettuare in diversi modi: così si possono localizzare tumori, in quanto questi assorbono di preferenza particolari elementi radioattivi, quali ad es. il fosforo 32 e lo jodio 131. Gli AA. ricordano alcune difficoltà tecniche, che si incontrano nello stabilire la ripartizione di materiali radioattivi, e a questo riguardo illustrano diversi procedimenti atti allo scopo, quali un tipo di macchina fotografica con foro, la retina-gamma, la camera a scintillazione ecc. Risultati sensibilmente migliori si ottengono col processo esplorativo (scanning). Viene poi descritto diffusamente il nucleografo, dispositivo esplorativo per usi clinici. **Tt.**

R. Monden - P. Moyat — Ricerche funzionali termiche e gas-analitiche in medicina. (E.T.Z. (B), 21 luglio 1959, pag. 302 a 308, con 6 fig.). **6 b**

Coi sempre maggiori progressi realizzati nel campo delle misure sono connesse le applicazioni nella medicina per la soluzioni di vari problemi molto differenziati. Allo stesso modo vengono sempre più estese le possibilità della diagnostica clinica e della terapia. L'analisi di gas e di valori di temperatura hanno acquistato in questi ultimi tempi grande importanza appunto in relazione al notevole perfezionamento di tali mezzi di misura. In particolare gli AA. trattano dei processi di misura di grandezze funzionali nei fenomeni calorifici e del ricambio nella biologia. Vengono indicati i di-

versi tipi di apparecchi da usare nei vari casi, a seconda degli scopi di ricerca, e viene accennato alle difficoltà di adeguamento alle esigenze della fisiologia e della medicina nella trasmissione di misure eseguite con criteri tecnici. *Tt.*

H. Jensen - G. Schwär — La televisione in medicina. (E.T.Z. (B), 21 luglio 1959, pag. 308 a 311, con 6 fig.). **6 b**

La televisione si va diffondendo nelle facoltà di medicina specialmente per l'insegnamento della anatomia: ma essa si può ugualmente applicare con vantaggio, quando si debbano presentare operazioni, che devono essere eseguite in locali, ove non sia possibile ammettere un gran numero di persone. Così si può usare la televisione per l'esame di radiografie ed anche per l'osservazione con strumenti ottici mono-oculari, come microscopi e cannocchiali. Gli AA. descrivono come si realizza la ripresa delle immagini con le fotocamere e come si procede poi alla loro riproduzione; viene esposto anche come si effettua la contemporanea trasmissione della parte sonora. Vengono poi dati alcuni esempi di installazioni effettuate, come nella clinica chirurgica di Würzburg, ove le telecamere «Vidikon» sono stabilmente incorporate nella sala operatoria nonché in quella di auscultazione. Analogo impianto si ha nella clinica universitaria di Amburgo. Diversa invece è l'installazione realizzata nella clinica ortopedica di Roma, ove vengono usate due telecamere «Ikonoskop», che, per la loro eccezionale grandezza, non poterono essere incorporate nelle lampade di illuminazione del tavolo operatorio, ma montate su carrello in elevata posizione, scorrevole nella parte superiore della sala. Ma l'impianto più moderno è quello di televisione a colori realizzato nella facoltà di medicina dell'Università di Marsiglia; qui, per le dimensioni della telecamera, si è proceduto al suo montaggio, accanto alle lampade di illuminazione, su di uno stesso sostegno, mentre la direzione di presa viene rivolta sull'asse di illuminazione per mezzo di uno specchio. *Tt.*

W. Keibel - J. Pätzold — Dispositivi medicali in alta frequenza ed eliminazione dei loro disturbi. (E.T.Z. (B), 21 luglio 1959, pag. 312 a 315, con 6 fig.). **6 b**

In medicina si usano diversi tipi di apparecchi ad alta frequenza, soprattutto per terapia ad onde corte e microonde, nonché per la terapia con ultrasuoni ed in elettrochirurgia. Per evitare disturbi dovuti agli apparecchi radio da parte di tali dispositivi, questi devono essere muniti di protezioni anti-disturbo. Gli AA. indicano gli effetti di tali protezioni sulla costruzione dei dispositivi stessi. Viene descritta la disposizione dei generatori in alta frequenza in essi usati e viene analizzato il processo di diffusione dei disturbi; viene poi indicato come si procede alla protezione antidisturbo nei diversi tipi di apparecchi. *Tt.*

G. Arlinger — Amplificatori magnetici per la regolazione nelle fonderie. (E.u.M., 1° dicembre 1959, pag. 578 a 583, con 20 fig.). **6 c**

L'industria dell'acciaio adopera da tempo per vari scopi gli amplificatori magnetici il cui impiego trova sempre maggiori applicazioni nella tecnica. L'A. si sofferma inizialmente sulla descrizione del funzionamento di un amplificatore magnetico, passando poi ad illustrare le possibilità offerte dai vari schemi con cui collegare le bobine. Viene anzitutto preso in esame uno dei primi amplificatori in ordine tecnologico, rappresentato dall'amplificatore con regolazione di corrente. Si passa quindi ai collegamenti in serie ed in parallelo delle bobine, con un'ampia illustrazione dei vantaggi e svantaggi di ciascuno, nonché delle prestazioni che essi offrono in vari campi. *A.C.*

A. Russig — Sviluppo e applicazione di controlli di misura in macchine utensili. (Elektrie (già Elektrotechnik), luglio 1959, pag. 258). **6 c**

Le macchine pulitrici e affilatrici esigono la massima precisione di lavoro e perciò vengono dotate di dispositivi di misura. La rilevazione di valori di misura può essere effettuata sia con elementi esploratori sia senza organi di contatto. La prima si compie in diversi modi, fra cui il metodo ELTASS si è oggi particolarmente affermato. In questo caso l'esploratore trasforma, in base ai dati rilevati sul pezzo, l'induttanza di due bobine contrapposte, che costituiscono un braccio di un ponte a corrente alternata. In base al valore della diagonale del ponte, restano poi azionati due triodi. I successivi elementi inseriti per mezzo di tiratroni a catodo freddo, piccoli relè e relè intermedi, danno allora luogo al-

l'impulso. Questi controlli di misura possono però essere soggetti ad errori provenienti dall'impiego di sfere e cilindri misuratori nonché da inclinazione del nucleo misuratore e da spostamento dei punti di misura. L'A. illustra la pratica applicazione dei controlli di misura descritti in base a due esempi. Da un paragone tra l'economia di controlli di misura pneumatici, elettronici ed elettromeccanici risulta che, per precisioni tra $3\ \mu$ e $5\ \mu$, quelli elettromeccanici sono superiori, mentre per maggiori precisioni si deve dare la preferenza a quelli pneumatici. *Tt.*

J. Rasch — Circuiti di regolazione elettronici e magnetici per laminatoi reversibili a freddo. (Elektrie (già Elektrotechnik), luglio 1959, pag. 264 a 265). **6 c**

Per la produzione di lamiere sottili e nastri di acciaio e di altri metalli si adotta per l'ultimo stadio di lavorazione la laminazione a freddo mediante impiego di laminatoi reversibili, in cui il materiale viene fatto passare più volte secondo un programma prestabilito. Connessi con tali laminatoi vengono installati aspi per il nastro e in essi e da essi si deve effettuare l'avvolgimento del materiale dopo la laminazione e successivamente lo svolgimento, quando si deve provvedere alla laminazione successiva. Lo spessore del nastro viene regolato ad un valore costante, in dipendenza della pressione al laminatoio, del tiro all'aspo e della velocità di laminazione; la regolazione si effettua su questi ultimi due elementi. Per questo scopo vengono descritti dispositivi di regolazione elettronici e magnetici, che stabiliscono il tiro del nastro all'aspo, la sua compensazione e la velocità del laminatoio. *Tt.*

O. S. Puckle — Il controllo numerico di macchine utensili. (J.I.E.E., Londra, settembre 1959, pag. 512 a 517, con 10 fig.). **6 c**

Il comando simultaneo di movimenti diversi sull'utensile d'una macchina operatrice non si può eseguire manualmente con la necessaria precisione e prontezza, esso richiede l'impiego di speciali maschere per guidare l'utensile, fissate alla macchina. L'A. descrive un dispositivo di comando elettrico che elimina l'impiego delle maschere, sempre di difficile esecuzione, per mezzo d'un controllo numerico a schede perforate. Le operazioni da eseguire sulla macchina sono tradotte, secondo un codice convenzionale, su un nastro continuo, per mezzo d'una macchina a tasti; il nastro perforato viene poi passato ad un apparecchio elettrico collegato con la macchina utensile, che nel caso considerato in dettaglio è una fresatrice. In condizioni particolari si può realizzare una precisione di lavorazione di $2,5\ \mu$, mentre normalmente la precisione è di $25\ \mu$. Le operazioni sono poi notevolmente accelerate, tanto da riuscire a finire da 5 a 25 pezzi nello stesso tempo che sarebbe richiesto dalla finitura a mano d'un solo pezzo. Anche rispetto alla lavorazione con maschere si ha un notevole risparmio di tempo. Il processo può essere vantaggiosamente impiegato per preparare le maschere da usare nelle macchine utensili per la lavorazione in serie di determinati pezzi, in luogo della lavorazione diretta a mano. Il dispositivo può essere aggiunto ad una macchina operatrice qualunque, avendo la forma d'un armadio metallico, con i comandi su pannello ed i cavi di collegamento ai motori della macchina operatrice che comandano l'utensile. *I.L.*

A. Högn — L'installazione di moderne apparecchiature di misura e di regolazione nell'industria dell'acciaio. (E.u.M., 1° dicembre 1959, pag. 583 a 592, con 16 fig.). **6 c**

È nota l'importanza che vanno progressivamente assumendo le apparecchiature di misura e di regolazione nei vari campi della tecnica. L'A. inizia l'articolo con una descrizione sulle apparecchiature di questo genere che sono oggi in dotazione delle moderne fonderie. Seguono alcuni esempi relativi al tipo di apparecchiatura ed al suo impiego nel suo determinato campo. Una parte dell'articolo viene inoltre dedicata ai problemi economici che l'installazione di siffatte apparecchiature comportano. L'A. chiude la pubblicazione con un panorama generale delle tendenze di sviluppo che presentano oggi tali apparecchiature. *A.C.*

G. Rühl — Regolazione di comandi alimentati da raddrizzatori in laminatoi continui. (Elektrie (già Elektrotechnik), luglio 1959, pag. 263 a 264). **6 c**

Nei comandi di laminatoi, il settore dei «treni Conti» deve essere preminente e illuminato in modo speciale da vicino: come è noto, i treni Conti sono nati dalle crescenti esigenze, cui devono ora rispondere i laminatoi per ottenere laminati

di piccole dimensioni. Nei soliti treni le gabbie sono disposte l'una a fianco dell'altra, mentre nei treni Conti esse sono in serie, l'una dopo l'altra; nei primi le gabbie sono comandate dallo stesso motore, invece nei secondi ogni gabbia è azionata da un proprio motore. Esse sono in generale comandate da motore a corrente continua con eccitazione in derivazione, il cui indotto è alimentato da raddrizzatori a griglia controllata; l'eccitazione si effettua con amplificatori magnetici. La regolazione di velocità avviene agendo sul circuito di indotto: i diversi indotti sono inseriti in parallelo su sbarre collettrici alimentate da parecchi trasformatori e raddrizzatori. La regolazione avviene attraverso il circuito di campo dei motori ma sulla regolazione influiscono anche le caratteristiche dei diversi apparecchi, che si trovano nel circuito, di cui elemento importante è lo stesso motore di comando coi suoi accessori. La chiusura di un circuito di regolazione si effettua in generale attraverso un regolatore IPD, che consente la compensazione delle due più importanti costanti di tempo del circuito. I moderni treni Conti sono previsti per programmi di fabbricazione assai vasti, il che porta che per le diverse gabbie si hanno relativamente brevi tempi per l'aggiustamento delle velocità, e ciò può essere ottenuto in parte con indebolimento del campo in base a due schemi indicati dall'A. Infine si hanno ancora molti problemi relativi agli ausiliari, le cui soluzioni vengono prospettate dall'A. Tt.

H. Weber — Circuiti con transistor in macchine calcolatrici. (E.T.Z. (A), 1° agosto 1959, pag. 498 a 502, con 10 fig.). 6 g

Una macchina calcolatrice è costituita da molteplici elementi relativamente semplici: essi devono funzionare rapidamente e in modo sicuro, senza assorbire eccessiva energia, e devono avere piccole dimensioni. L'amplificazione, in questa varietà di elementi, può essere con vantaggio espletata da transistor e pertanto questi penetrano sempre più nella realizzazione delle macchine calcolatrici. L'A. analizza i circuiti impiegati in tali macchine e considera le cosiddette disposizioni logiche e quelle di tempo o durata. Viene poi esaminato il mutuo effetto di funzionamento di elementi logici e ad accumulo. Invero le disposizioni logiche vengono realizzate con collegamenti logici di segnali; tali collegamenti sono effettuati per mezzo di invertitori e griglie; invece i collegamenti di durata si effettuano mediante accumulo dei segnali. La sicurezza di funzionamento delle calcolatrici resta notevolmente accresciuta dall'impiego dei semiconduttori. In America si valuta che, per il 1959, di tutta la produzione di transistor, il 10% almeno sarà destinato alle macchine calcolatrici. Ciò dimostra l'importanza di tale campo d'applicazione. Tt.

CONVERTITORI, RADDRIZZATORI, ECC.

A. P. Colaiaco - C. S. Hague — Il raddrizzatore al silicio è la principale sorgente di corrente continua del 1960. (West. Eng., settembre 1959, pag. 167 a 171, con 11 fig.). 10 f

Circa il 20% dell'energia prodotta negli USA come corrente alternata viene convertita in continua: al disopra di 400 V continui sono usati in prevalenza i raddrizzatori a vapore di mercurio (ignitron), mentre al disotto prevalgono oggi i raddrizzatori al silicio, i raddrizzatori al germanio essendo usati per tensioni continue minori di 35 V. I raddrizzatori al silicio sono preferiti nelle applicazioni industriali per: il loro rendimento, minimo ingombro, semplicità, costo ridotto e sicurezza di funzionamento. La cella al silicio deve essere protetta dall'aria per mezzo d'una capsula isolante, a perfetta tenuta, raffreddata in modo che la temperatura della giunzione non superi 150 °C. Per produrre grandi intensità di corrente continua, ad es. per applicazioni elettrochimiche, si usano diverse celle in parallelo, collegate alla rete trifase d'alimentazione attraverso un circuito a ponte. Il raffreddamento dei raddrizzatori al silicio può essere ottenuto tanto con l'aria che con l'acqua. Un raddrizzatore che alimenti un motore a corrente continua, atto a funzionare in recupero, deve essere provvisto d'una resistenza adeguata in parallelo per assorbire l'energia recuperata dal motore, durante il funzionamento come freno dinamico, coi relativi dispositivi di controllo. I raddrizzatori al silicio sono usati ora comunemente in impianti industriali a corrente continua a 250 V, fino a 3000 kW di potenza unitaria; si costruiscono anche per produrre correnti continue da 5000 a 25000 A, per applica-

zioni elettrochimiche. La regolazione della tensione in continua d'un raddrizzatore al silicio può essere fatta solo agendo sull'alimentazione in corrente alternata, per mezzo d'un regolatore o di reattori saturabili o di un trasformatore a rapporto variabile. Il fattore di potenza d'un raddrizzatore al silicio può ritenersi all'ingrosso di 0,95. I.L.

ELETTROFISICA E MAGNETOFISICA

H. J. Thuy - R. Wiesner — Gli elementi costruttivi in semiconduttori, loro proprietà fisiche e sviluppo tecnico. (E.T.Z. (A), 1° agosto 1959, pag. 473 a 479). 14 i

I semiconduttori hanno guadagnato in questo ultimo decennio un posto sempre più importante come elementi delle costruzioni elettrotecniche. Gli AA. passano in rassegna le origini del loro sviluppo e indicano poi la posizione raggiunta nelle moderne costruzioni radio e televisive. Vengono illustrati i fondamenti fisici, su cui si basa il comportamento dei semiconduttori e viene in particolare considerato l'effetto raddrizzatore e di transistor: quest'ultimo consiste nel fatto che, ad esempio, un flusso di vuoti, iniziato in un materiale *n* (passaggio *pn* nella direzione consentita), va a finire in un secondo strato di sbarramento, inserito nel relativo schema e ivi assume nel campo maggior energia di quanto era necessario per l'emissione (effetto di amplificazione). A cagione della bipolarità del meccanismo di conduzione, sono possibili entrambe le strutture *pnp* ed *nnp* per la costruzione dei transistor. Vengono poi passati in rassegna i materiali semiconduttori con le rispettive caratteristiche, quali antimonio e arsenio di indio, germanio, silicio, fosforo di indio. Vengono descritte le forme assunte dai raddrizzatori realizzati con tali materiali nonché quelle dei transistor. Vengono pure menzionati gli elementi a quattro strati e quelli fotoelettrici nonché i generatori di Hall. Viene accennato anche alle future tendenze di sviluppo in questo campo. Tt.

E. Ginsberg — Impiego di elementi con semiconduttori nella radio e nella televisione. (E.T.Z. (A), 1° agosto 1959, pag. 481 a 483). 14 i

Da alcuni anni negli apparecchi radio si sono introdotti i transistor in luogo dei tubi elettronici; inoltre da pochi anni coi transistor è stato realizzato un amplificatore di grande efficacia, che si è ormai diffuso in tutta la tecnica dell'amplificazione. Pertanto anche nella radio e nella televisione si va effettuando una vera e propria trasformazione, sulla quale riferisce l'A. In particolare egli si sofferma su quattro tipi di ricevitori della radio e della televisione, che meglio si adattano alla sostituzione dei tubi elettronici con transistor. Mentre per le radio portatili, la sostituzione è stata integrale, per le autoradio si usano ancora insieme transistor e tubi elettronici. Da molti elementi si può dedurre che in un prossimo futuro anche nei radoricevitori e televisori domestici si provvederà alla sostituzione integrale delle valvole termoioniche con elementi a base di semiconduttori. Tt.

Th. F. Grewe — L'impiego dei transistor nelle telecomunicazioni per filo. (E.T.Z. (A), 1° agosto 1959, pag. 483 a 487, con 14 fig.). 14 i

Gli apparati per telecomunicazioni a grandi distanze, che sinora erano stati dotati di tubi elettronici, vengono attualmente sempre più equipaggiati con transistor. Il loro minimo consumo di energia ha portato alla realizzazione di amplificatori di linee, alimentati a distanza, per sistemi di trasmissione a onde portanti. Tali amplificatori vengono fortemente accoppiati in push-pull, mentre gli oscillatori sono dotati di speciale stabilizzazione di ampiezza. In base agli schemi di principio degli amplificatori e degli oscillatori, viene trattata la situazione attuale nello sviluppo di tali equipaggiamenti. In particolare viene descritto un generatore a ponte con modulatore postinserito per telegrafia in corrente alternata, dotato di oscillatore a quarzo per la selezione con sistema proprio dei variatori di canale. Tt.

E. Götz - H. Ch. Heinzerling - H. G. Lott — I transistori nei comandi con elementi logici di inserzione. (E.T.Z. (A), 1° agosto 1959, pag. 487 a 492, con 20 fig.). 14 i

Molti comandi moderni non possono essere equipaggiati con relè, poichè le parti mobili meccaniche di questi ultimi hanno troppo breve durata, mentre d'altra parte risultano troppo lente nel movimento. Invece gli elementi di comando

senza parti in moto, basati sull'impiego di transistor, costituiscono rapidi dispositivi di comando; essi sono sviluppati in base alla logica simbolica. A questo riguardo viene descritto il comportamento algebrico, in fatto di schema, dei transistor: griglie a diodi riproducono le funzioni logiche. Vengono definiti tre elementi di comando senza parti in moto e vengono indicati alcuni esempi di schema. Assieme con elementi di tempo, iniziatori e amplificatori d'uscita, i predetti consentono la realizzazione di un sistema di comando senza parti in moto.

Tt.

A. de Quervain — **I semiconduttori nei comandi a distanza.** (E.T.Z. (A), 1° agosto 1959, pag. 492 a 495, con 4 fig.). 14 i

I comandi a distanza sono in uno stadio evolutivo sia per l'infusso della teoria dell'informazione sia per il continuo diffondersi dei semiconduttori. Invece di elementi principali eterogenei, costituiti da tubi elettronici e relè, si realizzano oggi schemi chiusi in se stessi, in cui i semiconduttori sono impiegati come amplificatori e inseritori; particolare interesse trovano in questo campo le forme costruttive digitali, che aprono anche nuovi campi d'applicazione ai comandi a distanza. Solo per canali a frequenza portante di notevole potenza i transistor non rispondono a tutte le esigenze imposte dal servizio.

Tt.

B. Rall — **I transistori nella tecnica di misura digitale.** (E.T.Z. (A), 1° agosto 1959, pag. 495 a 498, con 4 fig.). 14 i

Si tende oggi a realizzare sistemi automatici di controllo su macchine e sui loro prodotti: allora vengono continuamente controllate le dimensioni, cioè confrontate coi valori stabiliti, le eventuali differenze vengono elaborate e convertite in grandezze di comando, che regolano la macchina entro piccoli limiti o che fanno una selezione della produzione in buona e di scarto. Invero grandezze, misurate elettricamente, possono essere, in linea di principio, rielaborate, con qualsiasi precisione, in calcolatrici elettroniche; il dispositivo di misura deve solamente rappresentare tali grandezze con elementi binari di codice. Un tale numero risulta dall'accostamento, in diverso ordine, di sole due cifre, di solito 0 ed 1. L'A. a questo riguardo mostra come nei dispositivi di misura digitali venga ottenuto un numero e come i transistori siano elementi costruttivi assai adatti per essi. Viene mostrato anche come i transistori possano essere impiegati come interruttori che, rispetto ai relè, presentano il vantaggio di assorbire minore potenza, mentre risultano assai più rapidi. Vengono da ultimo descritti alcuni strumenti di misura digitali equipaggiati con transistor.

Tt.

H. Carl - H. L. Rath — **Contributo al problema dei dati-limite di elementi a base di semiconduttori.** (E.T.Z. (A), 1° agosto 1959, pag. 502 a 506, con 7 fig.). 14 i

La possibilità di applicazione di elementi costruttivi elettrici è determinata dai loro dati-limite. I parametri-limite essenziali degli elementi al germanio e al silicio sono la tensione, la corrente e la temperatura. Si ha il pericolo nel collegamento in serie di parecchi raddrizzatori, che venga superato il limite di tensione a cagione di ripartizione non uniforme della tensione di sbarramento. D'altra parte i dati-limite degli elementi a base di semiconduttori sono così strettamente connessi fra di loro, che l'utente non può controllarli per proprio conto, ma deve tener presenti i dati forniti dal costruttore. Il pericolo di superamento della tensione-limite per il collegamento in serie di raddrizzatori al germanio e al silicio, dovuto a differenze nelle caratteristiche di sbarramento dei singoli elementi, può essere eliminato mediante resistenze in parallelo; le differenze di durata, che si manifestano nell'assunzione di tensioni di sbarramento, possono essere ridotte con resistenze in parallelo o addirittura eliminate con capacità in parallelo unitamente a resistenze di smorzamento. Se mediante opportuni schemi, ad esempio con impiego di una bobina di inserzione, si riesce ad ottenere uno sfasamento in ritardo nella tensione di sbarramento tale, che non si abbiano più portatori di carica iniziali, allora le resistenze in parallelo sono sufficienti a garantire una ripartizione regolare della tensione di sbarramento.

Tt.

ELETTROTECNICA GENERALE

H. Wilpernig — **Trattamento grafico dei fenomeni di «inversione».** (E.u.M., 15 settembre 1959, pag. 433 a 436, con 4 fig.). 15 b

Se un'induttanza funzione della corrente che la attraversa, ed una capacità sono collegate in serie e percorse da corrente alternata, può verificarsi la cosiddetta «inversione». Il nome deriva dal fatto che la corrente che inizialmente seguiva la tensione (campo di funzionamento induttivo), improvvisamente può sopravanzarla e cadere nel campo capacitivo, avendosi pertanto un'inversione di fase. A causa dell'uso sempre più frequente di condensatori nelle linee di trasmissione in corrente alternata (in parallelo od in serie), ma anche per la capacità naturale della linea o del cavo, possono verificarsi siffatti fenomeni, se sono presenti bobine saturate (trasformatori, ecc.), e mettere in pericolo l'isolamento con forti sovratensioni. Nel corso dell'articolo sono descritti questi fenomeni e viene introdotto un diagramma che fornisce una visione generale di questo caso abbastanza frequente in pratica. Contemporaneamente vengono mostrati i metodi più in uso per prendere le adeguate misure di sicurezza. A.C.

S. I. Reynolds — **Misura e influenza delle cariche superficiali nei fenomeni ad alta tensione.** (Elec. Eng., novembre 1959, pag. 1090 a 1094, con 6 fig.). 15 b

Nel caso di scariche superficiali su dielettrici, una certa quantità di cariche resta fissata alla superficie; quando la polarità della tensione applicata si inverte, il campo prodotto da queste cariche si somma con quello applicato e contribuisce a facilitare la scarica in corrispondenza dei punti dove erano rimaste fissate le cariche stesse. L'A. espone in proposito notizie e considerazioni di ordine teorico e passa poi ad occuparsi dei metodi per la misura di queste cariche residue. La grandezza e la polarità di una piccola area caricata sulla superficie di un dielettrico possono venire misurate con dispositivo elettrometrico a sonda ruotante: la tensione indotta nella sonda quando passa sopra la superficie alla distanza di 1 mm viene collegata per via capacitiva all'entrata di un tubo a vuoto elettrometrico, amplificata e applicata a un oscilloscopio sul quale può essere misurata o fotografata. Per misurare l'area su cui giace la carica vengono generati punti segnalatori usando due piccoli elettrodi filiformi immersi in polistirene e distanziati di 3,48 mm collocati in modo che la sonda esplorante l'area debba passare fra i due elettrodi: la polarità assunta da una batteria connessa ai fili determina la polarità dell'area esplorata e la distanza fra i punti manifestatisi permette di misurarne la estensione. L'A. descrive la tecnica da usare in queste misure e riporta i risultati di molti rilievi sperimentali. La tensione di scarica, in un intervallo di 1 mm, in un campo uniforme fra un elettrodo metallico e una quantità di diverse superfici di dielettrici è risultata eguale a quella fra elettrodi metallici. La polarità della carica che rimane sulla superficie dielettrica è quella stessa dell'elettrodo opposto. Quando si applica un campo inverso la scarica avviene a una tensione minore che con superficie non carica; la scarica non neutralizza completamente la carica superficiale preesistente. La carica negativa totale ottenuta su una superficie di polietilene dopo una singola scarica, in campo uniforme e distanziamento di 1 mm con elettrodo di acciaio inossidabile, è stata di 1300 μC ; con una scarica positiva, 1260 μC ; sembra quindi che non vi sia differenza notevole fra carica positiva e negativa. N.

GENERATORI E MOTORI SINCRONI

H. Henning — **Un nuovo schema della macchina sincrona.** (E.u.M., 15 luglio 1959, pag. 352 a 354, con 1 fig.). 17 a

L'A. ricava uno schema a due maglie che rappresenta il funzionamento della macchina, in cui sia il circuito rotorico che statorico possono venire considerati insieme. Il detto schema può inoltre venire ulteriormente semplificato e, a seconda delle particolari necessità, può venire rappresentato con circuiti ad una sola maglia. Le equazioni fondamentali dello studio della macchina nonché i diagrammi vettoriali vengono organicamente collegati tra loro alla luce dei circuiti introdotti dall'A. nel presente articolo. A.C.

Per il cambio di indirizzo inviare L. 150
unitamente alla fascetta vecchia

K. Erik Johansson — **La regolazione della tensione delle macchine sincrone.** (Asea, 1959, n. 9, pag. 124 a 132, con 11 fig.). 17 c

La regolazione della tensione nelle macchine sincrone può avere diversi scopi: mantenere costante la tensione della rete per mantenere condizioni opportune alle macchine su di essa inserite; realizzare una opportuna distribuzione della potenza reattiva fra le varie macchine e le centrali funzionanti in parallelo; migliorare la stabilità transitoria nel caso di incidenti in rete; aumentare la stabilità delle macchine sottoeccitate. L'A. passa in rassegna queste diverse applicazioni esaminando per ciascuna di esse le esigenze che il dispositivo di regolazione di tensione deve soddisfare. Nei riguardi della conservazione della tensione di rete analizza il fenomeno della caduta iniziale di tensione per la applicazione improvvisa di un carico mettendo in evidenza l'importanza della reattanza transitoria. Viene poi discussa l'efficacia della regolazione di tensione nei riguardi della stabilità transitoria rilevando come la disparità delle opinioni in proposito dipenda dal fatto che tale efficacia dipende non solo dai parametri del regolatore ma anche dalla configurazione della rete: riporta in proposito i risultati dello studio eseguito con una calcolatrice analogica su un caso particolare e se ne giova per mettere in rilievo i vari aspetti del problema e conclude affermando che la regolazione rapida di tensione migliora le condizioni di stabilità quando si manifestano perturbazioni, anche se in qualche caso l'effetto non è appariscente. Se una macchina sincrona viene sottoeccitata in misura notevole, la stabilità può diventare decisiva per la capacità di carico della macchina, anche in condizioni di regime costante. Sono a questo proposito discussi due casi diversi: macchina caricata da una capacità costante, per esempio una lunga linea a vuoto; macchina connessa a una grande rete, caso che interessa i turboalternatori che, per ragioni di progetto e di economia, vengono costruiti con basso rapporto di corto circuito, cioè con elevata reattanza sincrona. N.

A. Sohlström — **Regolatori e dispositivi di regolazione per macchine sincrone.** (Asea, 1959, n. 9, pag. 133 a 140, con 17 fig.). 17 c

L'A. descrive alcuni tipi di regolatori di tensione, di costruzione Asea, che impiegano trasduttori. In un primo tipo, l'uscita del regolatore è impiegata per la regolazione diretta nel circuito di campo dell'eccitatrice; invece in un secondo sistema, a impulsi, essa viene amplificata in un amplificatore ruotante. Il primo dispositivo è adatto per piccole macchine; fino a circa 1000 kVA se si tratta di alternatori relativamente lenti e fino a 3000 kVA se si tratta di turboalternatori; generalmente il valore della tensione viene mantenuto costante entro $\pm 1\%$ e normalmente la tensione viene ripristinata entro 1 a 2 secondi dopo l'attacco o il distacco del pieno carico. Sostituendo l'eccitatrice ruotante con un dispositivo statico che fa uso di un raddrizzatore si possono ottenere regolazioni rapidissime. Il regolatore descritto comprende un gruppo di reattori in serie con trasformatori di corrente, la corrente secondaria dei quali viene introdotta nell'avvolgimento di campo dell'alternatore attraverso un raddrizzatore per dare la necessaria eccitazione a vuoto; una componente di corrente, funzione del carico dell'alternatore è ricavata da trasformatori sulle fasi dell'alternatore e viene sommata vettorialmente con la corrente ricavata dal gruppo dei reattori; il dispositivo dà una corrente di eccitazione opportuna qualunque sia il carico dell'alternatore e il fattore di potenza del carico; per compensare alcune cause di errore, il dispositivo è completato da un elemento a trasduttore analogo al primo descritto. In ultimo viene descritto un sistema di eccitazione a impulso riportandone i circuiti e discutendone le caratteristiche. N.

IMPIANTI

W. Kawann — **L'alimentazione di acqua di raffreddamento per la centrale termica di Pernegg.** (O.Z.E., maggio 1959, pag. 312 a 315, con 4 fig.). 20 f

Per una centrale termica è sempre essenziale disporre di abbondante afflusso di acqua per il raffreddamento del condensatore. Per la centrale considerata fu escluso di procedere ad un successivo raffreddamento dell'acqua già utilizzata, così da risparmiare la spesa di impianto di una torre di raf-

freddamento, in quanto la situazione della centrale, sulla sinistra della Mur, in vicinanza dello scarico della centrale idroelettrica dello stesso nome, consentiva di disporre di acqua abbondante sempre rinnovantesi. Questa viene usata anche per il raffreddamento dell'aria di ventilazione del turboalternatore, circolante in ciclo chiuso, nonché dell'olio di lubrificazione di tutto il gruppo. Il fabbisogno fu stabilito in 5000 m³/h per ogni gruppo, in totale cioè 10000 m³/h per tutta la centrale, pari a 2,8 m³/s. Il quantitativo d'acqua utilizzato è all'incirca proporzionale al quantitativo di vapore da condensare e quindi al carico della turbina: esso dipende anche dalla temperatura dell'acqua di raffreddamento. Si dovette perciò progettare un impianto di pompe, che potesse adeguarsi rapidamente al diverso fabbisogno. Per avere anche un'unità di riserva, furono installate 3 pompe, ciascuna delle quali fosse in grado di provvedere al fabbisogno di una turbina: esse sono del tipo ad elica con pale mobili della girante, ad asse verticale ad un solo stadio per una portata di 1,5 m³/s, con regolazione elettrica della posizione delle pale. Ogni pompa è direttamente accoppiata ad un motore asincrono trifase da 200 kW, 5 kV, 730 giri/min. È disposto un impianto di filtrazione dell'acqua prima della sua immissione nelle pompe. Queste sono situate in apposita costruzione. Tt.

J. Exenschläger — **Il turbogeneratore della centrale di Pernegg.** (O.Z.E., maggio 1959, pag. 316 a 320, con 7 fig.). 20 f

Il turboalternatore considerato è a due poli, direttamente connesso alla turbina; esso ha una potenza di 50 MVA, cos $\phi = 0,8$, 10,5 kV, 3000 giri/min. La custodia è in lamiera saldata in due pezzi; il pacco statore è stato costruito con lamiere sovrapposte, ad isolamento in carta, con coefficiente di perdita di 1,5 W/kg. L'avvolgimento statorico è a doppio strato, con due conduttori per cava e con passo raccorciato. Il rotore è del peso di 27 t con una lunghezza di oltre 8 m: l'avvolgimento rotorico è collocato in 28 cave, profonde ciascuna 160 mm: esso consta complessivamente di 14 bobine con conduttore nudo di piattina di rame in lega d'argento. Per l'isolamento dei conduttori è stato usato tessuto di vetro, pressato con resine sintetiche. Il rendimento del generatore, per cos $\phi = 0,8$, è risultato del 97,7%. Le perdite, ammontanti a 900 kW, vanno attribuite per il 6% ai supporti, per il 35% all'aria di raffreddamento, per il 20% al ferro, per il 10% al rame, per il 20% ad altre cause e per il 9% all'eccitazione. La macchina richiede per la ventilazione 27 m³/s di aria, che durante il passaggio aumenta la sua temperatura di 27°C. Essa viene poi raffreddata a 32°C in uno scambiatore di calore, per il cui raffreddamento occorrono 125 m³ di acqua all'ora con una temperatura massima dell'acqua di 22°C. Il turboalternatore ha un peso complessivo, compresa eccitatrice e piastra di fondazione, di 114 t, di cui 73 competono allo statore e 27 al rotore. La distanza fra i supporti è di 6920 mm, la lunghezza complessiva della macchina è di 10500 mm. Tt.

A. Grünwald — **Dispositivi di sorveglianza e regolazione della centrale termica di Pernegg.** (O.Z.E., maggio 1959, pag. 331 a 335, con 7 fig.). 20 f

L'energia prodotta dalla centrale considerata viene ottenuta in base ad un programma predeterminato, per poter osservare il quale con minimo personale è necessario effettuare la condotta della centrale dal quadro di comando unificato. Inoltre dallo stesso punto viene effettuato il controllo e viene attuato il comando degli elementi più importanti della caldaia, della turbina, dell'alternatore e di diversi impianti ausiliari, come della preparazione dell'acqua di alimentazione, del raffreddamento dell'olio e dell'accumulatore di vapore. Ivi devono essere indicate e registrate molte misure. Si dovette tener conto di queste necessità nella progettazione dei pannelli e del quadro a pulpito. L'A. espone i criteri seguiti a questo proposito. Vengono poi descritti gli apparecchi usati per la misura dell'acqua di alimentazione, del vapore e della condensa della turbina nonché del livello dell'acqua nei serbatoi. L'aria e la depressione nella camera a fuoco vengono misurati con un nuovo tipo di bilancia anulare «Komptron» con compensazione elettrica della coppia. Per la temperatura del vapore si sono usati termocoppie per alta pressione Fe-Co. Notevole è poi un dispositivo di segnalazione di incendio. L'analisi dei gas combusti si effettua con un dispositivo del dr. Gilli del Politecnico di Graz. Si hanno poi dispositivi di regolazione della temperatura del vapore e della depressione nella camera a fuoco, avente lo scopo,

quest'ultimo, di mantenere ad un valore costante detta pressione: questo è equipaggiato con regolatori magnetici a coppia massima funzionanti in modo progressivo. Inoltre l'impianto è dotato di dispositivo per la correzione della pressione che consente di procedere automaticamente con la pressione prescelta in caldaia. *Tt.*

Centro Atomico di Seibersdorf. (E.u.M., giugno 1959, pag. 256 a 319). 20 n

In questo numero della rivista viene descritto dettagliatamente il Centro Atomico di Seibersdorf presso Vienna, costruito a cura della Oesterreichische Studiengesellschaft für Atomenergie Ges.m.b.H. Nelle varie parti di cui si compone il numero in questione, vengono descritti i programmi previsti nei vari campi di attività del Centro, nonché lo stato attuale di lavori. Il reattore, ordinato nel maggio 1959 presso la AMF-Atomics, Greenwich, Conn. USA, è del tipo a piscina ed entrerà in servizio nella prima metà del 1960. La potenza termica è di 5 MW. Il nocciolo del reattore consiste in elementi a piastre in lega di uranio e l'arricchimento supera il 90%. Ogni elemento consiste in 18 lastre. Su tre lati del nocciolo sono le attrezzature per l'esecuzione delle esperienze, con i vari tubi di irraggiamento, mentre sul quarto lato vi è la colonna termica. Vengono inoltre descritti i vari laboratori che sorgeranno nelle vicinanze del reattore ed i servizi in cui si articolerà il Centro. *A.C.*

H. Schmidl — Lo sviluppo delle ricerche atomiche in Francia. (O.Z.E., maggio 1959, app., pag. 5 a 18, con 16 fig.). 20 n

Le ricerche atomiche in Francia sono affidate al C.E.A. - Commissariat à l'énergie atomique - dipendente direttamente dalla Presidenza del Consiglio dei Ministri. Presidente del Commissariato è P. Guillaumont; direttore tecnico F. Perrin. Esso si propone in special modo la formazione di specialisti nel campo atomico; dispone attualmente di circa 50 miliardi di franchi all'anno. I centri di studio sono tre: Fontenay-aux-Roses, Saclay e Grenoble. Il primo è nelle vicinanze di Parigi; è il primo centro costituito e contiene il primo reattore-pilota francese EL1, entrato in funzione nel 1948. Nel 1957 subì un ingrandimento. Il reattore funziona con acqua pesante e ha una potenza di 150 kW; utilizza uranio naturale. Il raffreddamento è ad acqua pesante. Oggi viene utilizzato per produrre isotopi di breve durata. La costruzione del centro di Saclay fu iniziata nel 1949: esso comprende 170 ha ed è vicino al precedente. Ivi sono installati 4 reattori e 5 grandi acceleratori. I reattori, EL2, EL3, Aquilone e Proserpina, utilizzano come moderatore acqua pesante i primi tre e acqua comune l'ultimo; combustibile rispettivamente uranio naturale, uranio leggermente arricchito, uranio naturale e solfato di plutonio. Le potenze dei primi due sono rispettivamente di 2 000 kW, 15 000 kW, mentre quelle degli ultimi due sono minime. Gli acceleratori sono: 1 tipo Van de Graaff per 5,5 milioni V max per protoni e deutoni; 1 tipo per ioni pesanti, ad es. di C, N ed O, per 120 sino a 160 MeV; un altro tipo Van de Graaff per 2 milioni V; un tipo lineare per elettroni per 28 MeV con una massima intensità di 85 mA, lunghezza 6 m, in cui gli elettroni si impiegano per produrre neutroni, un sincrotrone per protoni, sino a 3 miliardi eV, diametro 23 m. Il centro di Grenoble ha un'estensione di 100 ha e contiene un reattore e due acceleratori; esso funziona a stretto contatto col Politecnico di Grenoble. Da ricordare poi il centro di Marcoule per la produzione di plutonio, situato a 28 km da Avignone, iniziato nel 1954, contenente tre grossi reattori moderati a grafite e funzionanti ad uranio naturale, potenze da 5 a 30 MW. Il C.E.A. assiste poi l'E.d.F. per la costruzione della prima centrale nucleare francese di Chinon sulla Loira, che conterrà un reattore a grafite funzionante ad uranio naturale con raffreddamento ad anidride carbonica a 25 atm e con una potenza di 300 MW termici e 60 MW elettrici. *Tt.*

W. Plocke - L. Seltenhammer — Variazione dei costi di impianto e di costruzione nelle centrali idroelettriche austriache dalla fine 1956 all'inizio 1959. (O.Z.E., luglio 1959, pag. 390 a 398, con 6 fig.). 20 v

Nelle costruzioni idroelettriche in Austria, per quanto riguarda la parte muraria, si nota una costante tendenza all'aumento dei costi, a causa del mantenersi di un livello di alta congiuntura, che si ripercuote anche nelle costruzioni edilizie, nonché per l'aumento delle paghe, con l'introduzione

della settimana di 40 ore. Nei prezzi dei materiali si è registrato un costante aumento, ad eccezione dei tessuti, per i quali si è avuta anzi una diminuzione. Riduzioni notevoli si sono avute anche nei metalli, ad eccezione del ferro. Gli AA. danno poi indici circa i prezzi delle macchine e degli impianti, calcolati con nuovi criteri, destinati a fornire un efficace elemento di confronto dei prezzi in vista del prossimo incremento previsto delle costruzioni idroelettriche in Austria. *Tt.*

TRASFORMATORI

G. Camilli — Un trasformatore da 10 000 kVA con isolamento a gas. (Elec. Eng., agosto 1959, pag. 828 a 830, con 5 fig.). 39 a

Risalgono al 1956 i primi due trasformatori isolati in esafluoruro di zolfo (SF_6), da 2 000 kVA, 69 kV; da allora l'interesse per questo tipo di apparecchi specialmente per la sicurezza che presentano nei confronti del pericolo di incendio e di scoppio è andato crescendo. L'A. riferisce su una unità recentemente entrata in esercizio, da 10 000 kVA, 60 p/s, 62 700/124 700/7 200 V. L'aspetto esterno è molto diverso da quello degli ordinari trasformatori perché il cassone ha forma di un cilindro orizzontale. Come isolante è usato il gas esafluoruro di zolfo a pressione relativa di 1,05 kg/cm² a 25 °C. Tale gas, come è noto, non è infiammabile né tossico e ha una temperatura di ebollizione molto bassa ciò che è vantaggioso per unità per esterno. La costruzione del nucleo e degli avvolgimenti poco differisce da quella comune; gli isolanti sono di classe A per i conduttori. Il raffreddamento è ottenuto mediante circolazione forzata del gas attraverso il nucleo e le bobine con 2 ventilatori indipendenti; i motori di comando sono racchiusi in 2 camerette separate, indipendenti dal cassone ispezionabili senza perdita di gas. Il gas caldo viene fatto passare su un evaporatore posto entro il cassone e che è connesso a un condensatore posto esternamente: il sistema è riempito di freon liquido la cui circolazione avviene spontaneamente per gravità senza alcun intervento meccanico. L'avvolgimento ad alta tensione è protetto con scaricatori collegati direttamente ai passanti mentre l'avvolgimento a bassa tensione non ha protezione. Il trasformatore è progettato per una sopraelevazione di temperatura in esercizio di 55 °C; sembra però che i buoni isolanti di classe A invecchino alquanto più lentamente nel gas di quanto facciano nell'olio cosicché si prevede di poter annettere temperature più elevate. I passanti sono pure a riempimento di gas ma per il resto non differiscono dai tipi comuni. I trasformatori in gas sono meno rumorosi di quelli in olio e riescono notevolmente più leggeri. *N.*

P. Narbut - G. A. Monito — Trasformatori raffreddati a vapore. (West. Eng., novembre 1959, pag. 162 a 166, con 7 fig.). 39 a

Premesso che fin dall'origine i trasformatori di tipo sigillato, a riempimento di gas, hanno trovato impiego, sebbene l'uso dell'olio fosse economicamente più vantaggioso, gli AA. mostrano come l'impiego dei fluorocarboni quale gas pesante di riempimento, insieme ad una costruzione più accurata del contenitore sigillato, abbiano valorizzato questo nuovo tipo di trasformatore rispetto al tipo in olio, anche se la rigidità dielettrica dei fluorocarboni sia poco più della metà di quella dell'olio isolante. La temperatura d'ebollizione del nuovo prodotto, indicato con la sigla FC-75, è di 101 °C; essa assicura un limite superiore ragionevole per la temperatura del nucleo e degli avvolgimenti del trasformatore, dato che in corrispondenza del punto d'ebollizione il potere raffreddante del nuovo mezzo risulta notevolmente aumentato. La condensazione del vapore avviene sempre in un refrigerante ad alette, esterno al contenitore; il liquido che si raccoglie sul fondo di questo deve però essere portato al disopra del nucleo e degli avvolgimenti per mezzo d'una pompa, in quanto non si può far conto sulla circolazione naturale, come nei trasformatori in olio. Finora due tipi di trasformatori per distribuzione sono stati costruiti con raffreddamento a fluorocarbene: da 500 e da 7 500 kVA, rispettivamente per le tensioni primarie di 15 e 34,5 kV. La principale caratteristica del nuovo tipo di trasformatore è la sicurezza di funzionamento, per cui l'impiego è limitato ai casi in cui non è possibile installare i trasformatori in olio, per i pericoli d'incendio a cui possono dar luogo. *I.L.*

TRAZIONE E PROPULSIONE

H. Koch — La trazione elettrica e la sua alimentazione energetica nella Germania Orientale. (Elektrie (già Elektrotechnik), luglio 1959, pag. 269). **41 b**

Le linee già elettrificate nella Germania Orientale intorno a Lipsia sono alimentate dalla centrale di Muldenstein; è stato mantenuto il sistema monofase a $16 \frac{2}{3}$ Hz, ma nello stesso tempo si sta sperimentando il sistema a frequenza industriale. L'alimentazione si effettua o direttamente dalle centrali dotate di macchine generatrici a $16 \frac{2}{3}$ Hz oppure attraverso stazioni di conversione. La prima soluzione offre un rendimento più elevato; però con la seconda soluzione, specialmente quando si disponga di una rete nazionale a maglie strette, si può attuare l'alimentazione con piccole stazioni di conversione molto ripartite con minori perdite di tensione alla linea di contatto. Ma anche in questo caso appare preferibile un'alimentazione diretta, decentralizzata, della linea di contatto, poichè con convertitori sincroni si avrebbe una ripartizione del carico inammissibile; e lo stesso dicasi per il funzionamento di tali convertitori in parallelo con turbogeneratori. Si ha poi una terza forma di alimentazione, quella mista, in cui si hanno contemporaneamente alimentazione diretta da centrali proprie e alimentazione indiretta attraverso convertitori da reti a frequenza industriale. Questa forma verrà pure adottata nella Germania Orientale. *Tt.*

P. K. Budig — Il moderno motore di trazione. (Elektrie (già Elektrotechnik), luglio 1959, pag. 270 a 271). **41 e**

Vengono elencate le caratteristiche, che determinano il dimensionamento dei motori di trazione; attualmente, nella progettazione, si cerca di avere minimo peso del motore, in relazione alla sua potenza, grande durata del collettore e delle spazzole, mantenimento dei limiti di riscaldamento. A questo riguardo, per i motori di trazione si considera l'isolamento in classe B, che comporta una temperatura di 145°C per l'avvolgimento rotorico, di 155°C per quello statorico e di 115°C per il collettore. Se invece si adotta l'isolamento in classe E, tali limiti vengono aumentati di 20°C . Per il dimensionamento del motore, si parte dalle dimensioni del rotore; il diametro del collettore — pari all'80% circa del diametro del rotore — deve essere tale da non superare la velocità periferica di 50 m/s. La tensione fra le lamelle del collettore non deve superare 40 V. Per i motori monofasi bisogna tener conto, per la progettazione del motore, anche della tensione del trasformatore, in quanto essa determina all'avviamento un carico addizionale delle spazzole, e perciò la grandezza del flusso magnetico deve essere stabilita tenendo conto di tale tensione. Inoltre anche le armoniche del flusso influiscono sulla tensione; esse sono provocate sia dalle armoniche della corrente sia dalla saturazione del circuito magnetico: tali tensioni poi sono insufficientemente compensate dai poli di commutazione. Le armoniche dovute alla caratteristica di magnetizzazione possono essere evitate, quando nella progettazione si faccia in modo che il punto di lavoro sia nel tratto lineare della caratteristica; cioè la macchina non deve essere magneticamente saturata. *Tt.*

M. Martin — L'equipaggiamento elettrico di locomotori ferroviari. (Elektrie (già Elektrotechnik), luglio 1959, pag. 271 a 272, con 1 fig.). **41 e**

L'ultimo progresso nel campo della trazione elettrica ferroviaria è rappresentato dallo sviluppo del motore monofase a corrente alternata a 50 Hz, con eccitazione in serie, in quanto esso consente di alimentare la linea di contatto direttamente dalle reti di distribuzione a frequenza industriale. L'A. descrive l'equipaggiamento dei locomotori a corrente continua 3000 V, che rappresentano l'ultima espressione dell'elettrificazione ferroviaria a corrente continua. Per quanto riguarda il sistema monofase, l'A. ricorda che l'adozione della frequenza $16 \frac{2}{3}$ Hz ha costituito una grande semplificazione nella costruzione dei locomotori. La regolazione della tensione per mezzo di prese sul trasformatore consente il funzionamento dei motori senza perdite per tutto il campo di regolazione. Con il crescente sviluppo della tecnica dei semiconduttori sono previste ulteriori semplificazioni nell'equipaggiamento dei motori di trazione. *Tt.*

M. Eckert — Stato e tendenze nello sviluppo dell'illuminazione nelle vetture ferroviarie. (Elektrie (già Elektrotechnik), luglio 1959, pag. 272 a 275, con 3 fig.). **41 e**

L'illuminazione nell'interno delle vetture ferroviarie è stata di recente portata nel Codice UIC al minimo di 80 lx, misurata a 80 cm dal pavimento e a 60 cm dallo schienale dei se-

dili. L'illuminazione deve garantire la possibilità di lettura, senza stanchezza per gli occhi, il che richiede una luminanza di 90 a 100 asb. Deve essere evitato ogni abbagliamento mediante scelta opportuna della forma dei diffusori. Ma il maggior progresso nel campo dell'illuminazione delle vetture ferroviarie è offerto dalle lampade a fluorescenza, che possono essere alimentate a corrente sia continua sia alternata. Uno dei sistemi adottati è il « Faga », in cui si impiega la corrente alternata: le lampade devono essere percorse sempre dalla stessa corrente costante e in base a questo criterio viene disposta la regolazione. Mediante un circuito dipendente dalla frequenza, la velocità, e perciò la frequenza del convertitore, viene regolata in modo che la corrente sia costante. Invece le prove eseguite con alimentazione a corrente continua non hanno dato buoni risultati. Viene poi ricordato anche un sistema per alimentazione a corrente alternata, basato sull'impiego di singoli invertitori e viene accennato agli impianti con turboinvertitori, costituiti da un raggio rotante di mercurio in atmosfera di gas protettivo. Anche il motore di azionamento è qui racchiuso nella stessa custodia contenente il gas protettivo. L'albero del motore comanda un cono centrifugo, per mezzo del quale il mercurio viene aspirato dalla parte centrale del recipiente e soffiato da ugelli rotanti. Il polo negativo viene posto ulteriormente alle due estremità dell'avvolgimento primario del trasformatore, mentre quello positivo della batteria è applicato al punto medio dell'avvolgimento primario. Il gruppo funziona con rendimento dell'85%. Un particolare problema è costituito dall'accensione: il metodo con accenditori a luminescenza non è sufficientemente sicuro e si adotta invece un dispositivo preinserito a riscaldamento continuato. *Tt.*

W. Krebs — Stato e tendenze di sviluppo nelle applicazioni dell'elettricità a bordo di navi. (Elektrie (già Elektrotechnik), luglio 1959, pag. 277). **41 I**

Si sono fatti esperimenti per adottare negli impianti di bordo frequenze dell'ordine di 400 Hz allo scopo di realizzare riduzioni di peso del macchinario impiegato. Per i quadri, si cerca di arrivare al tipo costituito dalla composizione di singoli pannelli unificati. Per i comandi a distanza, tanto impiegati a bordo, si mira a passare dal sistema con relè e protezioni a quello con amplificatori magnetici e avvisatori rotanti così da evitare l'impiego di contatti. Anche i semiconduttori cominciano ad essere applicati a bordo. Nell'illuminazione, grazie al crescente impiego della corrente alternata, trovano sempre più larga applicazione le lampade fluorescenti a bassa tensione, mentre per scopi di servizio sui ponti si prestano le lampade fluorescenti a vapore di mercurio ad alta pressione in adatti proiettori profondi. Invece per la propulsione elettrica si tende ad accrescere il limite superiore di applicabilità della corrente continua, perchè essa presenta vantaggi per questo uso. Inoltre lo sviluppo di motori Diesel assai veloci fa prevedere nuovo impulso alla propulsione elettrica. Nel comando diretto o attraverso ingranaggi trovano sempre più larga diffusione i giunti elettromagnetici a induzione (a scorrimento) anche per grandi potenze. *Tt.*

K. F. Koch — Questioni tecnologiche negli impianti elettrici di bordo. (Elektrie (già Elektrotechnik), luglio 1959, pag. 278). **41 I**

L'A. esamina le diverse condizioni, che devono essere soddisfatte negli impianti di bordo, e precisamente, per quanto riguarda l'economia delle installazioni, un sempre maggior risparmio di manodopera nei montaggi. Inoltre in questi impianti devono essere osservate le particolari condizioni dovute alla presenza del mare e pertanto la possibilità di resistenza a temporanei allagamenti, i fattori di clima, come temperatura, umidità dell'aria, ghiaccio, radiazioni ultraviolette, oscillazioni per moto ondoso, limitazione di spazio, pericoli di incendio per difetti di isolamento. Si deve inoltre tener presente che, specialmente per piccole navi, il personale non è in generale specializzato in elettrotecnica. Grande importanza hanno poi i criteri di unificazione, allo scopo di rendere i materiali impiegati meno costosi, pur assicurando la loro elevata qualità. *Tt.*

Eseguire il versamento della quota Associativa entro i termini Statutari, vuol dire facilitare tutto il funzionamento amministrativo dell'A.E.I.